

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Optovláknové senzory s mikrostrukturními vlákny
Optical fiber sensors based on microstructure fibers

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Kopera**
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika
Téma: Optovláknové senzory s mikrostrukturními vlákny
Optical fiber sensors based on microstructure fibers

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše v oblasti senzorů založených na mikrostrukturních vláknech.
2. Teoretický popis výše zmíněných experimentů.
3. Experimentální ověření vybraného experimentu.

Seznam doporučené odborné literatury:

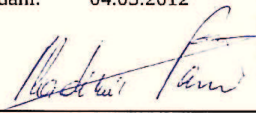
BJARKLEV, A.; BROENG, J.; SÁNCHEZ BJARKLEV, A. *Photonic crystal fibers*. Boston (USA): Kluwer Academic Publishers, 2003. 298 s. ISBN 1-4020-7610-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

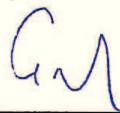
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Skapa, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry

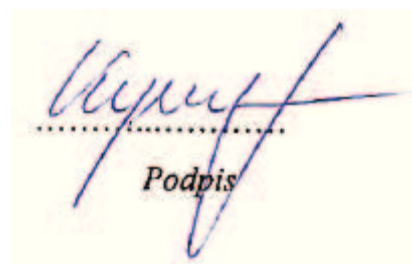



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 04.05.2012



Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janu Skapovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce, svému otci při konstrukci měřícího přípravku, a v neposlední řadě své rodině a své přítelkyni.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je popsat funkci optovláknových senzorů s použitím vláken s fotonickými krystaly tzn. mikrostrukturní vlákna, a na základě teoretických poznatků z této oblasti provést měření vybraného experimentu, při němž bude měřena fyzikální veličina. Na základě tohoto měření sestavit metodiku a postup měření.

Výroba fotonického (mikrostrukturního) vlákna je v oblasti vláknové optiky jednou z nejnovějších inovací, což nabízí velkou výzvu pro nové poznatky v oblasti proměnných vlastností tohoto vlákna a ty poté použít v rámci senzorické praxe, pro což je toto vlákno díky své stavbě naprosto ideální.

Jelikož vláknová optika začíná čím dál více pronikat do různých odvětví průmyslu, výbušných prostředí, uhelných dolů, kde se musí dodržovat nejpřísnější bezpečnostní požadavky, na nichž záleží lidské životy, je využití těchto optovláknových senzorů jednou z nejlevnější, nejbezpečnějších, nejrychlejší a v neposlední řadě nejpreciznější alternativou.

Klíčová slova

Optosenzor, optovláknový senzor, mikrostrukturní vlákno, mikrostruktura, PCF vlákno, fotonický krystal, přípravek, spektrometr.

Abstract

The subject of this thesis is to describe fiber-optic sensors using photonic crystal fiber, ie. microstructure fibers, and on the basis of theoretical knowledge in this field experiment to measure selected in which the measured physical quantity. On the basis of this measurement methodology and establish measurement procedure.

Production of such photonic (microstructure) fibers in the field of fiber optics, one of the newest innovations, which offers a great challenge for the new knowledge in the field of variable properties of the fibers and then use those in the sensory experience, for which this fiber is due to its construction of an absolutely perfect.

Since fiber optics are increasingly beginning to venture into different industries, explosive environments, where the coal mines must comply with the strictest safety requirements, on which human life depends, is the use of fiber-optic sensors, one of the cheapest, safest, fastest and ultimately accurate alternative.

Key words

Opticalsensor, opticalfiber sensor, microstructure fiber, Microstrusture, PCF fiber, photinic crystal, preparation model, spectrometer

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
BF	Bragg Fiber	Braggovo vlákno
ES	Endlessly Singlemode	Pomocí širokého spektra vedení jednoho módu
HC	Hollow core	Vlákno s dutým jádrem
IG	Index Guiding	Indexem řízené vedení světla
MPOF	Microstructured Polymer Optical Fiber	Polymerové vlákno s fotonickými krystaly
OFTC	Optical Fiber Technology Centre	http://sydney.edu.au/ipos/news_events/archives/oftc.shtml
PBG	Photonic Band Gap	Fotonické zakázané pásmo
PCF	Photonic Crystal Fiber	Vlákno s fotonickými krystaly
PMMA	Poly-Methyl Metacrylate	Polymethyl metakrylát
POF	Plastic Optical Fiber	Plastové optické vlákno

Obsah

1	Úvod	1
2	Senzory založeny na mikrostrukturních vláknech	3
2.1	Optovláknové senzory	3
2.2	Fotonické krystaly	4
2.2.1	Jednorozměrné fotonické krystaly (1D)	4
2.2.2	Dvourozměrný fotonický krystal (2D)	5
2.2.3	Trojrozměrné fotonické krystaly (3D)	7
2.3	Mikrostrukturní vlákna	9
2.3.1	Popis vlákna	9
2.3.2	Typy PCF vláken	10
2.3.3	MPOF, polymerová POF vlákna	18
3	Experiment	22
3.1	První část experimentu	22
3.1.1	Popis přípravku	22
3.1.2	Postup měření	23
3.2	Druhá část experimentu	25
4	Měření vybraného experimentu	29
4.1	Popis měření a měřené parametry	29
4.2	Výsledky měření	31
4.3	Shrnutí výsledků měření	35
5	Závěr	38
	Použitá literatura	40

1 Úvod

Zavedení vláknové optiky do průmyslových, biomedicínských a jiných aplikací bylo jedním z největších přínosů, co se týče inovací v těchto odvětvích. Největší přínos měla tato inovace v telekomunikacích, kde se díky těmto technologiím několikanásobně zvýšily kapacity přenosu.

Princip a vlastnosti těchto vlnovodových vláken byl znám mnohem dříve, než se začala tato komunikace využívat, ale z důvodů tehdejších technologií nebylo možno tato vlákna vyrobit. První optický spoj tedy začal fungovat na konci 70. let minulého století, což znamenalo převrat v komunikacích. Tehdy to byly vlákna konvenční. Na počátku nového tisíciletí byly téměř všechny hlavní páteřní sítě již realizovány pomocí těchto technologií.

Vývojem nových vláken začala cena vlákna klesat a dostupnost se zvyšovat. V telekomunikačních sítích již nebyly optickým spojením realizovány pouze páteřní trasy, ale začaly být rozváděny až do místních ústředen, ústřední firmy a pobočkových ústředen.

Díky svým výhodám především hmotnosti, odolnosti proti rušení a malým rozměrům byly tyto technologie rychle zavedeny do průmyslu a především do senzorické praxe.

Dnešní moderní doba a nové možnosti výrobních programů přeměnily teoretické poznatky do praxe a na základě principu fotonických krystalů bylo vyrobeno PCF vlákno, neboli mikrostrukturální optické vlákno. Toto vlákno díky své konstrukci je pro využití v oblasti optovláknových senzorů nejvhodnější. Působením fyzikálních veličin jako je například tlak a teplota se mění přenosové vlastnosti fotonických krystalů, a tím i vnitřní struktury těchto vláken, čímž je docíleno změny přenosového prostředí, a tudíž tento vliv můžeme na výstupní straně pozorovat pomocí snímaného optického záření.

Tato diplomová práce se bude zabývat optovláknovými senzory s použitím mikrostrukturálních optických vláken. Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, přenosové vlastnosti a jejich změny v závislosti na působení fyzikální veličiny, jsou velmi dobře využitelné v rámci senzorických aplikací.

Tento typ mikrostrukturálních optovláknových senzorů se v této době ještě často nepoužívá, jelikož není stanoven přesný postup a vhodné metody pro sestavování a jejich následné aplikace. Tento momentální stav vývoje snímačů dává proto velký prostor pro vědu a výzkum v tomto odvětví.

V první části práce se budeme zabývat základním popisem mikrostrukturálních vláken, jak fungují a na základě jakých principů. Vyjmenujeme si a popíšeme základní kategorie a typy těchto fotonických vláken.

Druhá část bude zaměřena na popis vybraného experimentu jeho, hlavní body a předpokládané cíle měření, kterých bude dosaženo na základě teoretických poznatků.

V poslední části se zaměříme na výsledky měření, které byly zaznamenány při měření optovláknového senzoru a jejich vyhodnocení. V závěru této práce se zaměříme na předpokládané výsledky a porovnání se skutečnými hodnotami, zda se teoretické poznatky v praxi osvědčily.

2 Senzory založeny na mikrostrukturních vláknech

V této kapitole se budu zabývat popisem optovláknových senzorů, a principem funkce mikrostrukturních vláken.

2.1 Optovláknové senzory

Optovláknové senzory se poprvé začaly využívat již na počátku 80. let minulého století, kdy byly poprvé vyvinuty a sestrojeny senzory tohoto typu. Během poměrně krátkého časového úseku od zavedení a zkonstruování prvních senzorů, byly zkoumány a vyvíjeny snímače, které by byly schopny téměř všech možných měření - jak fyzických, chemických, a v neposlední také měření biologických veličin.

Tyto senzory pracovaly s konvenčními vlákny, jako jsou jednomódové a vícemódové, pro které byla stanovena metodika měření výstupního signálu, na základě měřené veličiny. Například pro měření radiace pomocí optického vlákna a jeho změny útlumu, jelikož se zde využívalo poškození optického vlákna radiací.

Dalším využívaným principem v oblasti vláknových senzorů je změna přechodu a odrazu světla. Tento princip se využívá u mechanických snímačů, kde tento jev zajišťuje pohyb vstupního a výstupního vlákna vůči sobě, či posuv clony před vláknem.

Tyto optovláknové senzory se vyznačují oproti elektrickým snímačům svými výbornými vlastnostmi, mezi ty hlavní patří:

- Odolnost vůči elektromagnetickému rušení,
- Vyloučení jakéhokoli možného vzniku jisker a elektrických oblouků,
- Nízká hmotnost,
- Malé rozměry,
- Nízká cena.

V této práci se budu zabývat senzory, které pro svou funkci využívají mikrostrukturní vlákno. Nejdříve si vysvětlíme a popíšeme, na jakých principech tato mikrostrukturní vlákna vůbec fungují, a co je to fotonický krystal.

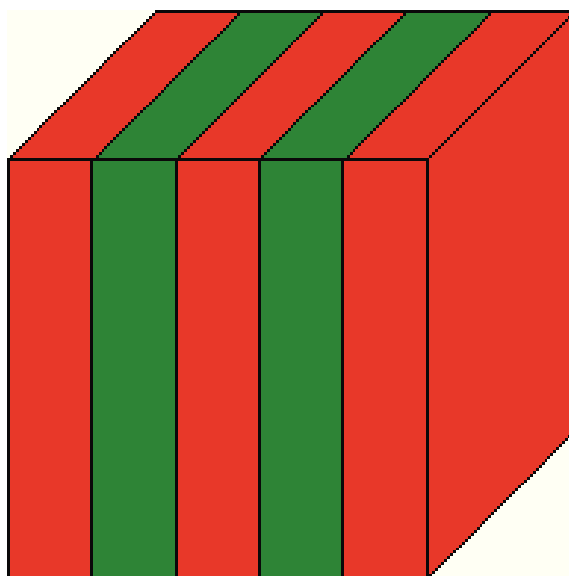
2.2 Fotonické krystaly

Fotonický krystal je prvek, který vykazuje periodické změny v jednom nebo více osách. Ve své podstatě je to pásmová propust, která v určitém kmitočtovém pásmu zabráňuje vniknutí elektromagnetických vln, což znamená, že propouští pouze určitou vlnovou délku. Tyto fotonické krystaly dělíme do tří skupin:

- Jednorozměrné (1D)
- Dvourozměrné (2D)
- Trojrozměrné (3D)

2.2.1 Jednorozměrné fotonické krystaly (1D)

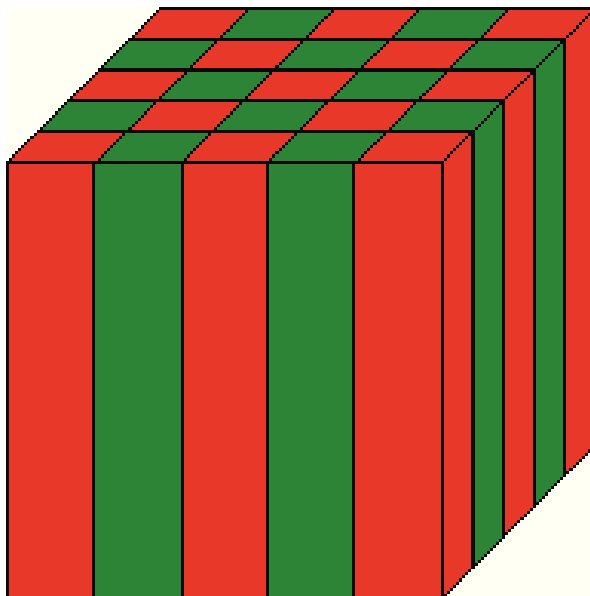
U tohoto typu fotonického krystalu hovoříme jako o modelu, který se skládá ze dvou střídajících se vrstev materiálů (Obrázek 2.1), z nichž jeden je charakterizován indexem lomu n_1 a druhý indexem lomu n_2 . Tyto vrstvy se střídají s periodou Λ . Taková struktura je schopna propustit elektromagnetické vlnění pouze na určitých frekvencích, zatímco ostatní frekvence odrazí. Nejvíce se tento model 1D fotonického krystalu aplikuje pro Braggovy svazky. [1]



Obrázek 2.1.: Jednorozměrný fotonický krystal 1D [4]

2.2.2 Dvourozměrný fotonický krystal (2D)

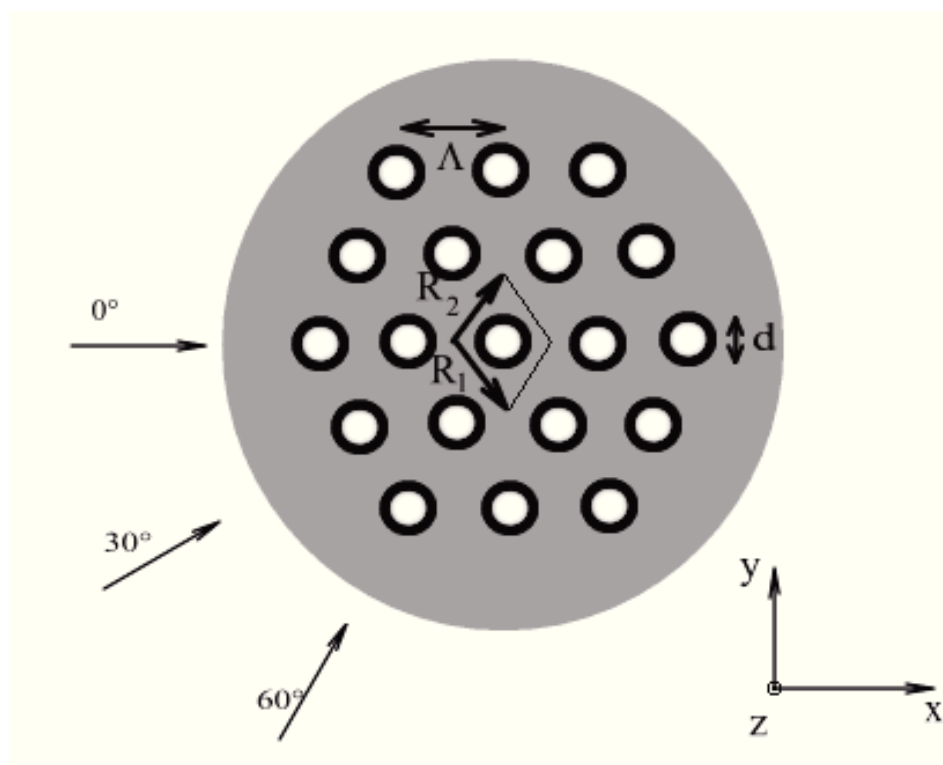
Dvourozměrný krystal je krystal, který mění svůj index lomu periodicky ve dvou osových směrech (Obrázek.2.2), přičemž třetí osový směr zůstává konstantní. Stavby toho krystalu se využívá pro šíření vln v optickém mediu. Dva směry mají periodicitu o rozsahu, který určuje Brillouinova zóna se svými třemi body určují symetrii. Tato struktura se zobrazuje v tzn. čtvercové nebo trojúhelníkové symetrii.



Obrázek 2.2.: Dvourozměrný fotonický krystal (2D) [4]

Jelikož nejvíce nás v této práci budou zajímat dvojrozměrné fotonické krystaly, protože právě tento typ krystalu se používá v mikrostrukturních vláknech, popíšeme si blíže v tomto bodě 2D-krystal.

Příklad na obrázku (Obrázek 2.3.) je fotonický krystal s hexagonální symetrií, kde v materiálu s vysokým indexem lomu n_1 jsou vytvořeny díry s nízkým indexem lomu n_2 o průměru d . Rozteč těchto děr udává periodu mřížky Λ . Na obrázku je zároveň vyznačena jednotková buňka s jednotkovými vektory R_1 a R_2 . [2]



Obrázek 2.3.: Schematický příklad 2D fotonického krystalu. Krystal je obvykle tvořen válci s kruhovým průřezem. Invariantní osa krystalu je shodná s osou z . Perioda mřížky je Λ , průměr oblastí je d a struktura má hexagonální symetrii (to znamená, že při dopadu vlny pod úhlem 0° , 30° a 60° se struktura jeví stejně) [1].

Jednotková buňka je definována jako nejmenší oblast, pomocí které lze pouhou translací úplně zachytit celou strukturu fotonického krystalu, a vymezujeme ji pomocí primitivních mřížkových vektorů. Dvourozměrné fotonické krystaly, které jsou charakterizované právě jednou dírou/tyčinkou v jednotkové buňce jsou označovány jako trojúhelníkové struktury [3].

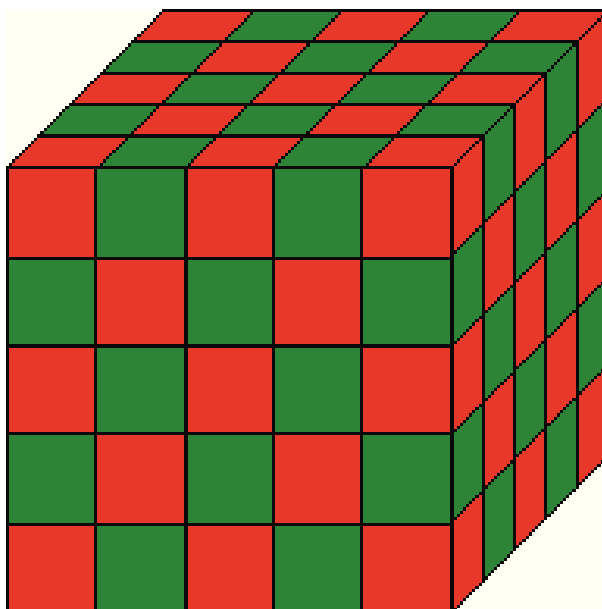
Zde je třeba si dobře uvědomit rozdíl mezi pojmy trojúhelníková (plástvová (honeycomb), čtvercová, atd.) struktura a např. hexagonální (trojúhelníková, čtvercová, atd.) symetrie. První pojem se týká tvaru a rozložení jednotkové buňky a druhý symetrie z hlediska šířící se vlny v rovině periodicity.

Při řešení podmínek šíření elektromagnetických vln v takových strukturách vycházíme ze stejného modelu, jako v případě 1D fotonických krystalů, tj. z podobnosti s chováním krystalických struktur pevné fáze.

V praxi (z hlediska výpočetních časů, dostupných nástrojů a zkušeností s využitím) se pro stanovení podmínek šíření ve 2D fotonických krystalech využívá metody šíření rovinných vln, popřípadě jejich různých modifikací. [2]

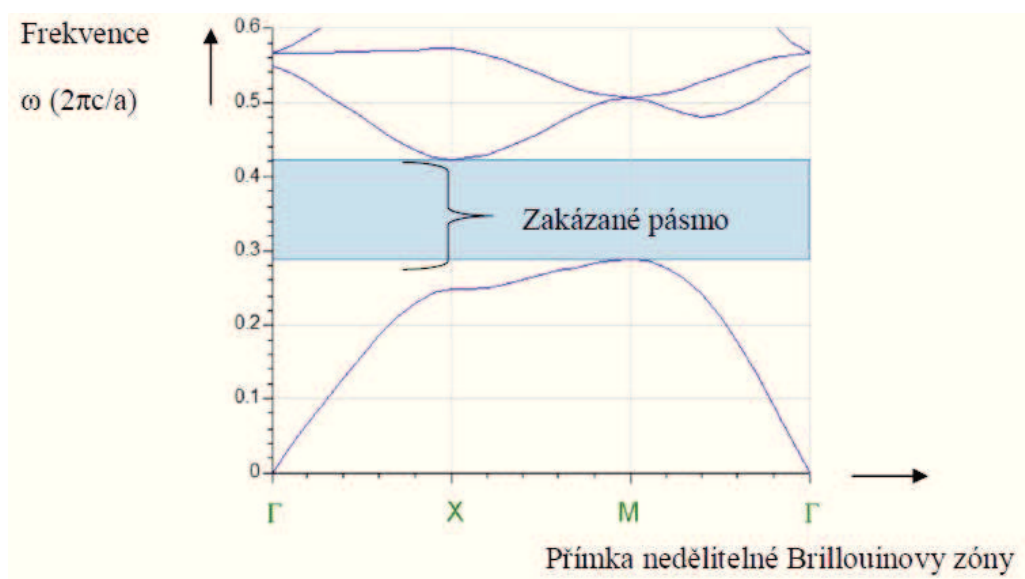
2.2.3 Trojrozměrné fotonické krystaly (3D)

Trojrozměrný fotonický krystal (Obrázek 2.4.) může mít svůj index lomu periodicky ve třech osových směrech. Výroba těchto 3D fotonických krystalů je v této době technologicky velice náročná, tudíž se tento model u optických vláken nepoužívá, pro tyto aplikace je dostačující dvourozměrný krystal.



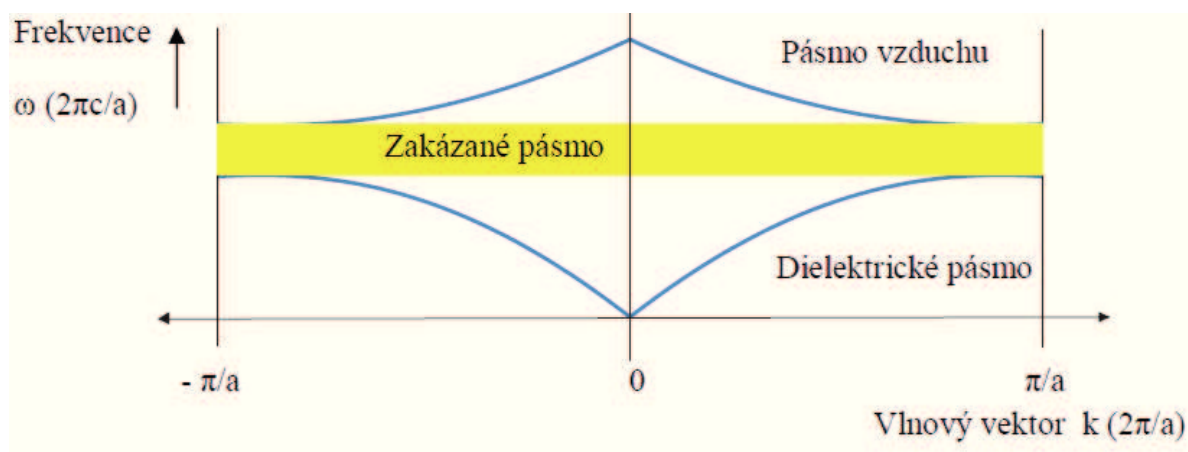
Obrázek 2.4.: Trojrozměrný fotonický krystal (3D)[4]

Jedním ze zásadních parametrů pro mikrostrukturní vlákna je fotonické zakázané pásmo, které se také nazývá PBG (Obrázek 2.5.). Zakázané pásmo určuje šířku pásma, ve kterém se světlo nešíří, ale pouze se odráží. Tyto krystaly se pro danou frekvenci chovají jako ideální zrcadlo, přičemž toto zakázané pásmo je dvourozměrné, kde na ose x má 3 body symetrie spojené spojnici definující přímkou nedělitelné Brillouinovy zóny. Na ose y jsou pak vyneseny hodnoty frekvence v závislosti na ose x . [4]



Obrázek 2.5.: Zakázané pásmo [5]

V části popisu zakázaného pásma byla zmíněna Brillouinova zóna, což je oblast, která vymezuje rozsah periody. Pro první periodu je první zóna, pro druhou periodu druhá zóna atd. Na obrázku níže (Obrázek 2.6.) je možné vidět první Brillouinovu zónu, která vychází z jednorozměrného krystalu. Žlutá oblast na obrázku reprezentuje zakázané pásmo[4].



Obrázek 2.6.: Diagram 1.Brillouinovy zóny[4]

2.3 Mikrostrukturní vlákna

Tato část diplomové práce se bude zabývat popisem vláken sestavených z fotonických krystalů, popisem jejich základních typů a jejich možné využití.

2.3.1 Popis vlákna

Mikrostrukturní optická vlákna, nazývána také photonic crystal fiber (známa pod zkratkou PCF), se rozdělují do mnoha různých kategorií na základě svých parametrů, které můžeme vypočítat z obrázku uvedeného níže (Obrázek 2.7.).

Rozdíl mezi klasickým konvenčním vláknem a mikrostrukturním vláknem je především ve stavbě těchto vláken, jelikož nemají prvky s vlastnostmi jako je vyšší index lomu a plášť s nižším indexem lomu světla.

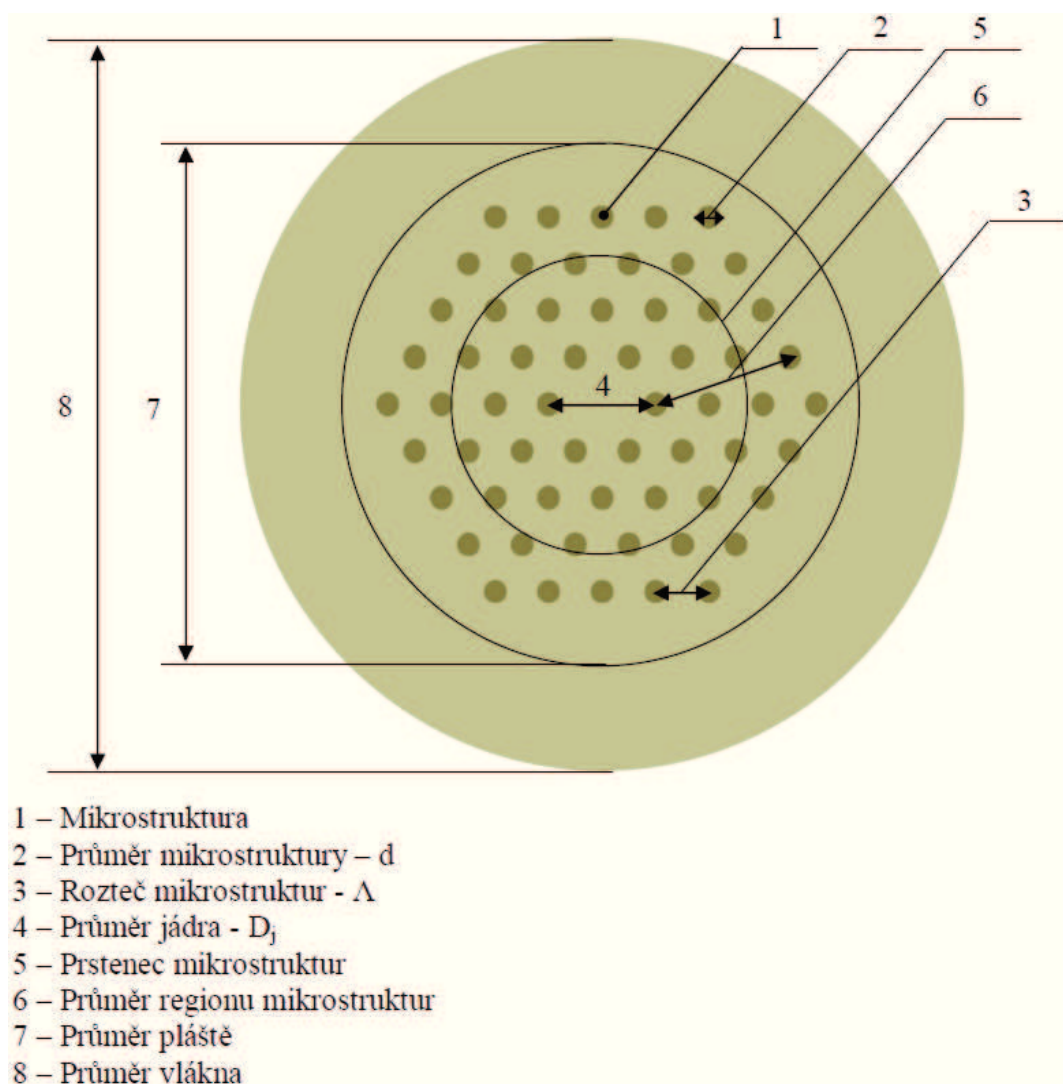
Stavbu takového vlákna tvoří různé typy jader a použité mikrostruktury a díry, které se zde objevují, snižují efektivní index lomu světla, díky nimž se z vláken nevyvazují paprsky s určitou vlnovou délkou.[4]

Mikrostrukturní PCF vlákna jsou specifická především díky své vnitřní periodické struktuře děr, které bývají obvykle vyplněny vzduchem a souběžně s osou vlákna probíhají celým vláknem bez jakéhokoli přerušení.

V případě tohoto typu vlákna se používají výhradně fotonické krystaly s defekty, jejichž realizace se provádí odstraněním jedné nebo více děr ze středové oblasti vlákna. Tímto odstraněním děr je docíleno uzavření a zformování oblasti jádra.

Parametry PCF vláken:

- Tvar mikrostruktur bývá nejčastěji cylindrický, eliptický, hexagonální a čtvercový
- Normalizovaná velikost mikrostruktury - d/Λ - vyjadřuje procentuální podíl vzduchu ke sklu ve vlákně, jestliže jsou všechny struktury stejné, odvíjí se od ní charakteristika vlákna
- Prstenec vyjadřuje mikrostruktury, které jsou stejně vzdáleny od jádra.
- Počet prstenců ovlivňuje propagační ztráty, se zvětšujícím počtem prstenců ztráty klesají

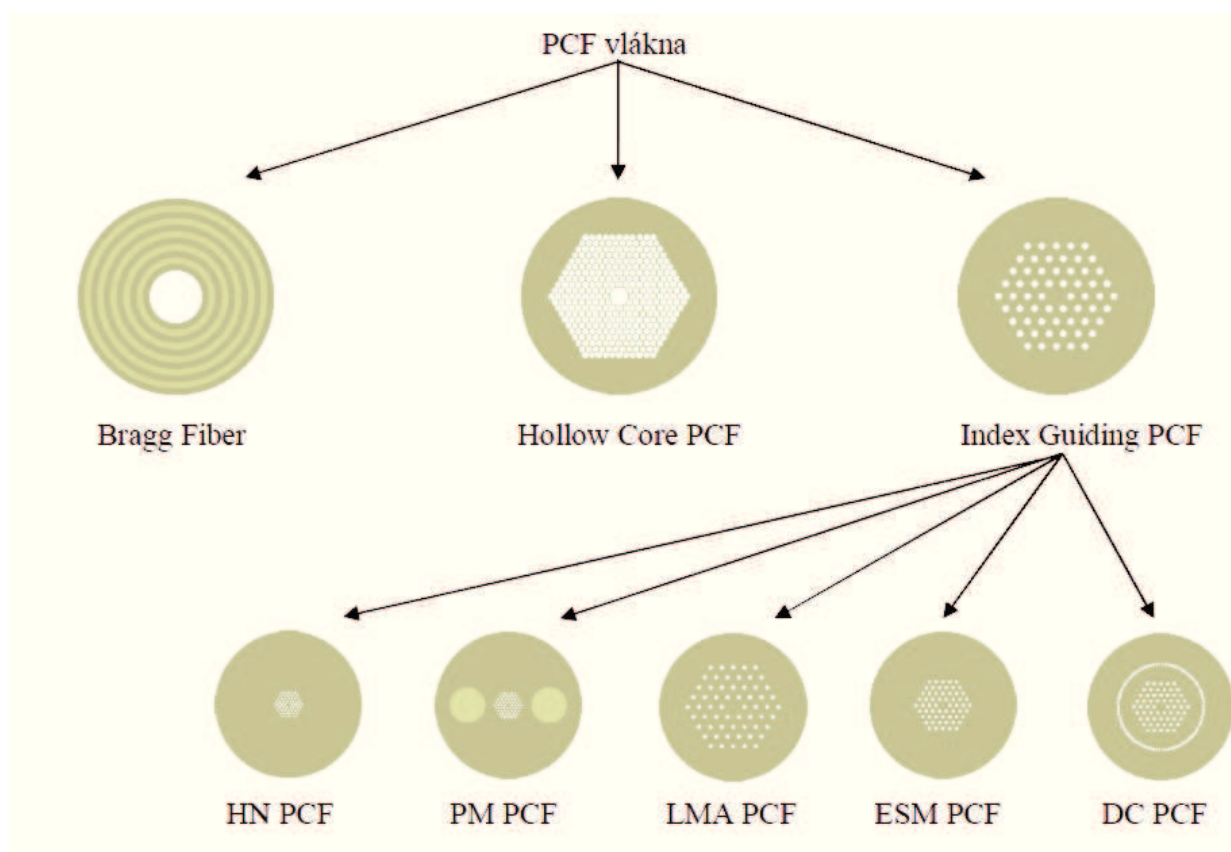


Obrázek 2.7.: Stavba mikrostrukturního vlákna, parametry mikrostruktury[4]

2.3.2 Typy PCF vláken

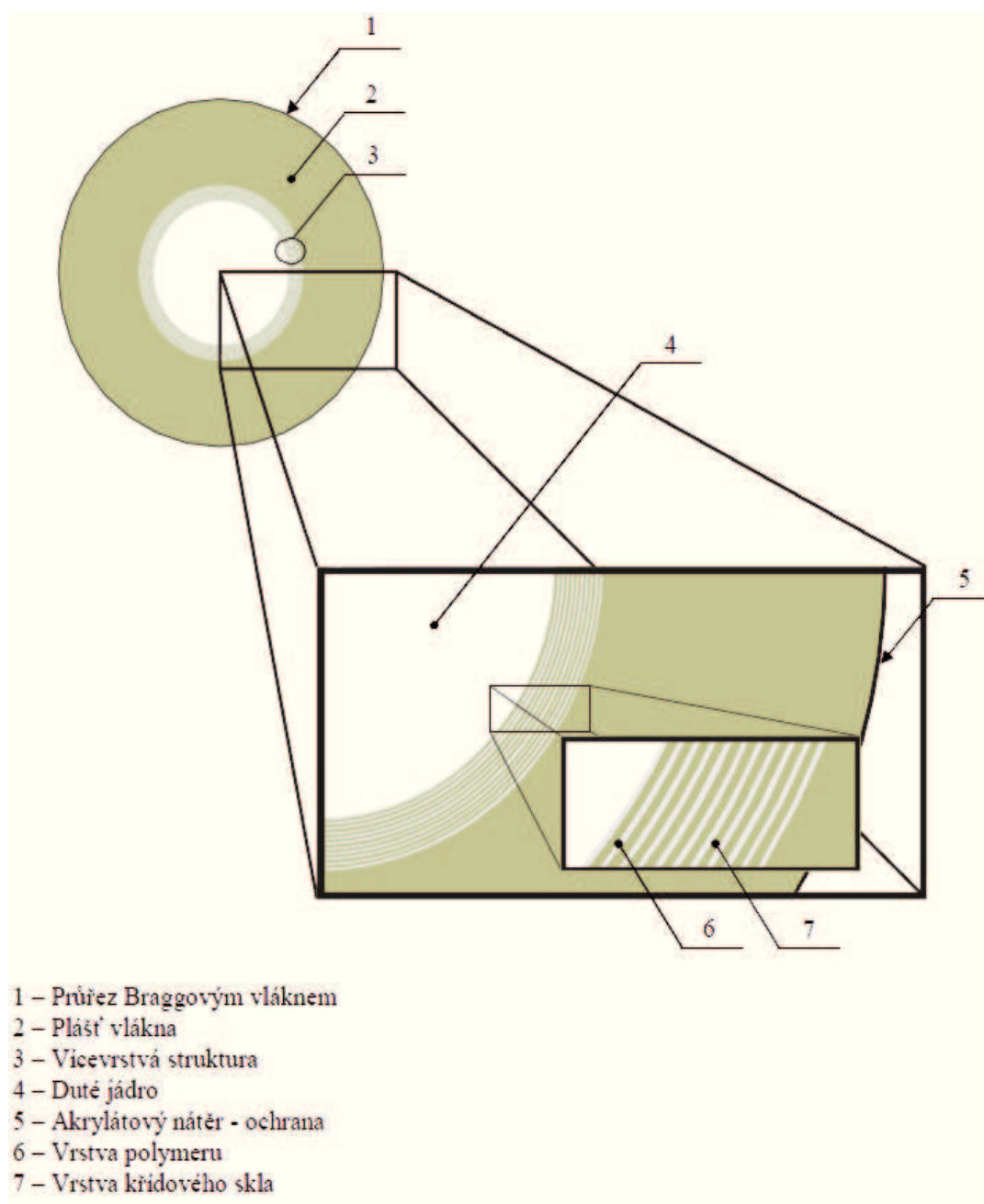
PCF vlákna je možné rozdělit dle příslušné literatury do tří skupin, a to na základě jejich principu činnosti a vlastností, jak je vidět na obrázku (Obrázek 2.8.).

Do první skupiny dle rozdělení řadíme PCF vlákna jednorozměrná, druhou skupinu tvoří PCF vlákna s dutým, neboli prázdným jádrem, a třetí skupinu tvoří PCF vlákna s pevným a skleněným středovým jádrem.



Obrázek 2.8.: Rozdělení PCF vláken na základě jejich vlastností [4]

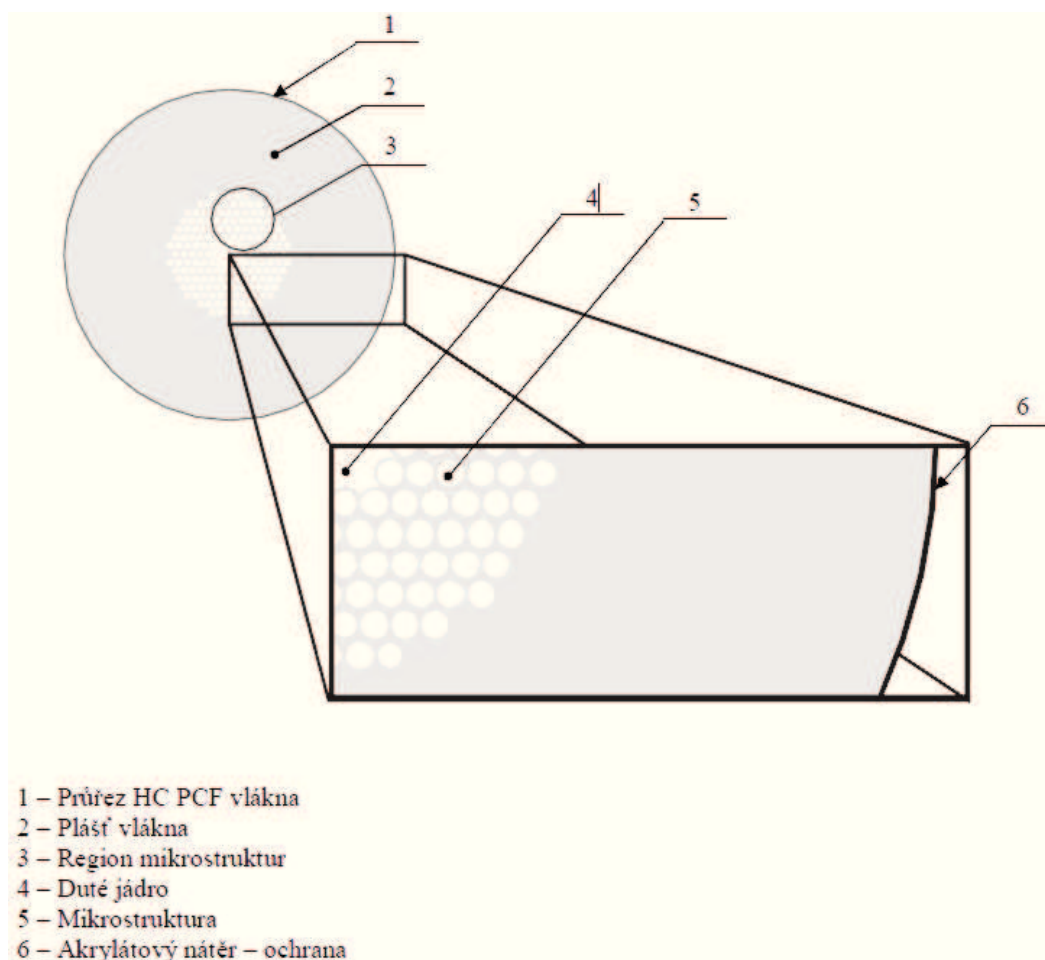
- Do první kategorie zahrnujeme PCF vlákna jednorozměrná, což jsou vlákna, která byla vyvinuta nejdříve, a jedná se o tzn. válcová vlákna, která pro svou činnost využívají jednorozměrné fotonické krystaly. Paprsek navázaný do vlákna se tedy pohybuje mezi prostředími ve směru osy z , čímž má jednorozměrnou periodicitu. Struktura takto konstruovaného vlákna je známá jako Braggovo vlákno, které je popsáno na obrázku (Obrázek 2.9.).



Obrázek 2.9.: Braggovo vlákno [4]

- Do druhé skupiny rozdělení mikrostrukturálních vláken patří vlákna typu Hollow Core PCF, které se také nazývají zkratkou PBG (Photonic Bandgap Fiber), a jsou to vlákna, která mají své jádro prázdné. Ke své činnosti využívají již výše popsaného principu zakázaného pásma ve fotonických krystalech. Centrální prázdné jádro vlákna se tvoří vynecháním několika buněk (Obrázek 2.10.), čímž vznikne díra, která vyplní

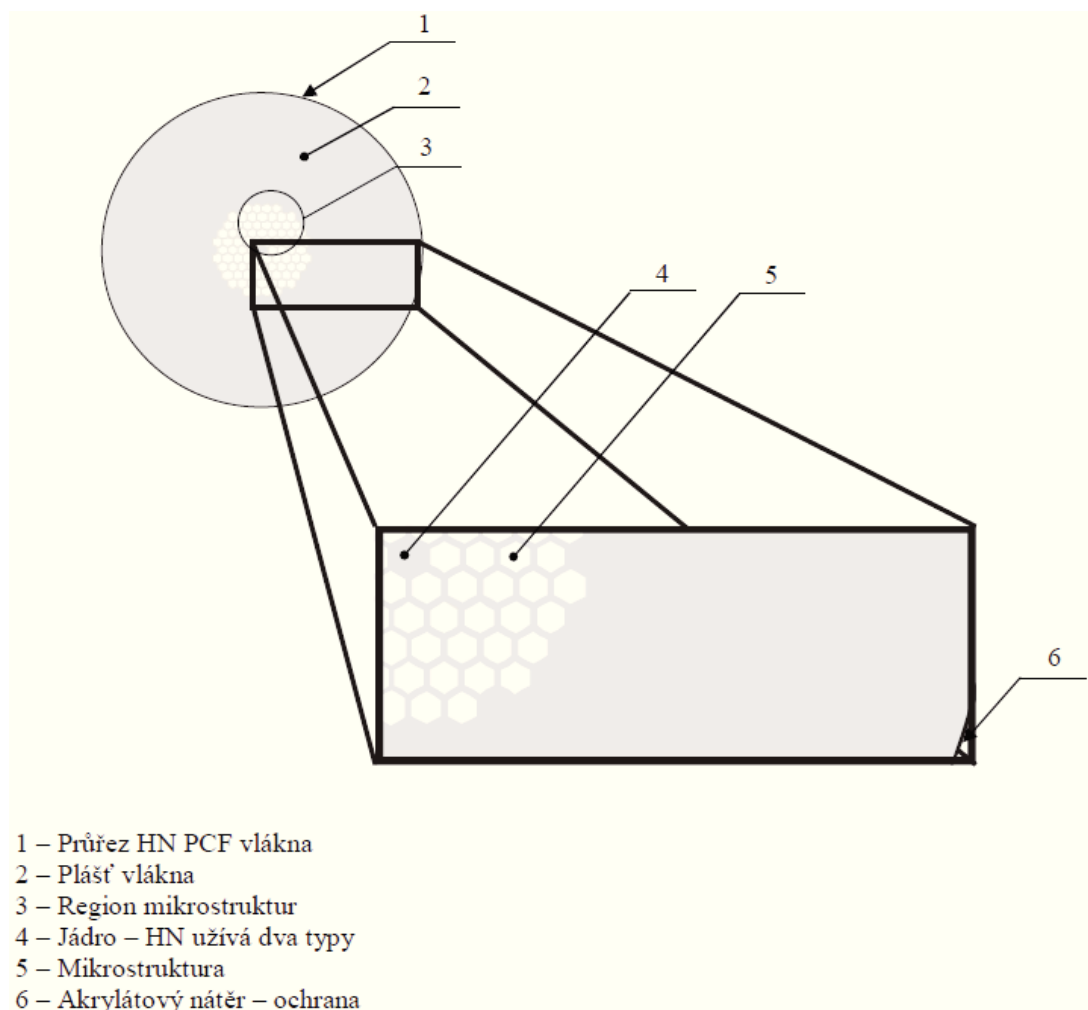
vzduchem či jiným plynem. Od velikosti jádra se odvíjí schopnost vlákna přenášet větší vlnové délky, tj. čím větší je velikost jádra, tím je vlákno schopno přenášet vyšší vlnovou délku. Poměr vzduchu k pevným částem tohoto vlákna je více než 90%, z čehož vyplývá, že okolo 95% optického signálu se šíří vzduchem. Cena takového typu vlákna se pohybuje okolo 475€ za metr 7 buněčného vlákna, a okolo 800€ pro 19-ti buněčná vlákna.[4]



Obrázek 2.10.: Hollow Core PCF vlákno [4]

- Třetí skupinu PCF vláken jsou Index Guiding PCF vlákna. Toto označení znamená indexem řízená fotonická krystalická vlákna. Tyto vlákna nemají své centrální jádro duté (Obrázek 2.11.), ale je tvořeno pevnou strukturou, nejčastěji křemičitým sklem, které může být dopováno různými příměsemi pro zvýšení indexu lomu světla v jádře. Do této skupiny spadají vlákna s vysokým kontrastem indexu lomu high-delta (nebo

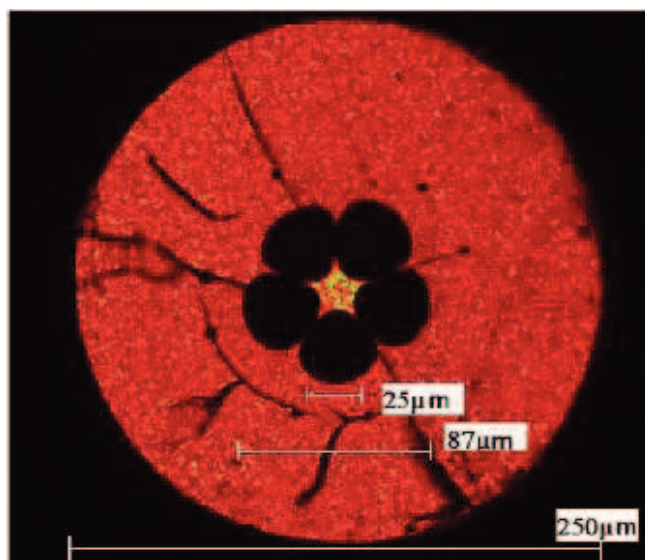
suspended-core) PCF, které budu používat při experimentálním ověření vybraného měření. Průřez, a geometrie high-delta vlákna je vidět na obrázku (Obrázek 2.12.).



Obrázek 2.11.: Obecné HN PCF [4]

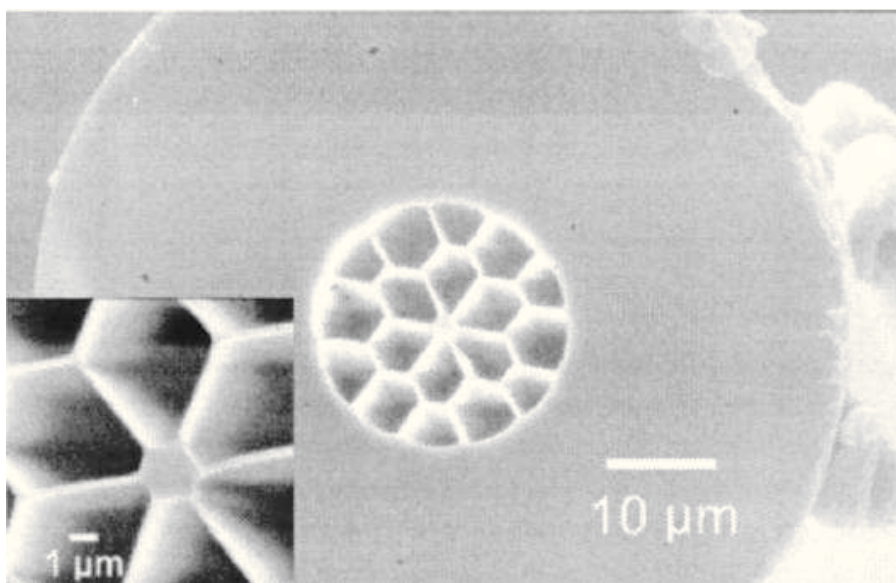
Pro experimentální ověřování budeme používat vlákno high-delta, které je vyrobeno z PMMA, což je plast, který se běžně používá pro produkci konvenčních plastových vláken, více o materiálu, ze kterých jsou plastová vlákna vyráběna se budeme věnovat v následující kapitole 2.3.3.

V případě high-delta MPOF se jedná o vlákno s velmi vysokým kontrastem indexu lomu, které se chová prakticky jako homogenní struna ze světlovodného materiálu obklopená vzduchem. Neobvyklý u konvenčních vláken technologicky nerealizovatelný profil jádra spolu s vysokým koeficientem delta propůjčuje suspended-core MPOF kombinaci vlastností charakteristických pro SM i MM vlákna. Mimo to, vysoká vzduchová plnicí frakce mikrostruktury dovoluje efektivně tuto mikrostrukturu plnit reagenty pro modifikaci vlastností vlákna, nebo přímo využít kontakt povrchu jádra vlákna s okolním prostředím.[2]



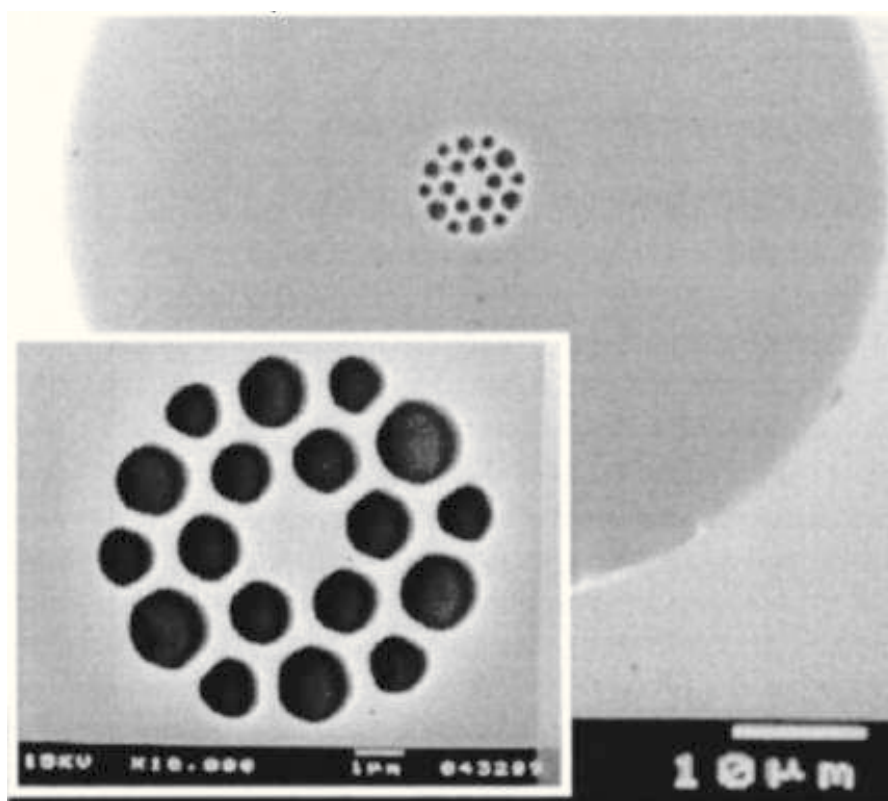
Obrázek 2.12.: High-delta vlákno

Do kategorie IG PCF vláken patří také další typ vlákna a to Highly Nonlinear PCF, což je vysoce nelineární vlákno, které pro svou funkci využívá úplného vnitřního modifikovaného odrazu. Tento typ vlákna se dělí ještě na další dva typy. První typ se vyznačuje velmi malým jádrem jehož velikost je 1- 2 μm . Malé jádro má za následek velmi malou vidovou plochu, což je vidět na obrázku (Obrázek 2.13.). Tento typ bývá často dopován různými prvky, jež v konečném důsledku vede k vysokému indexu lomu světla.



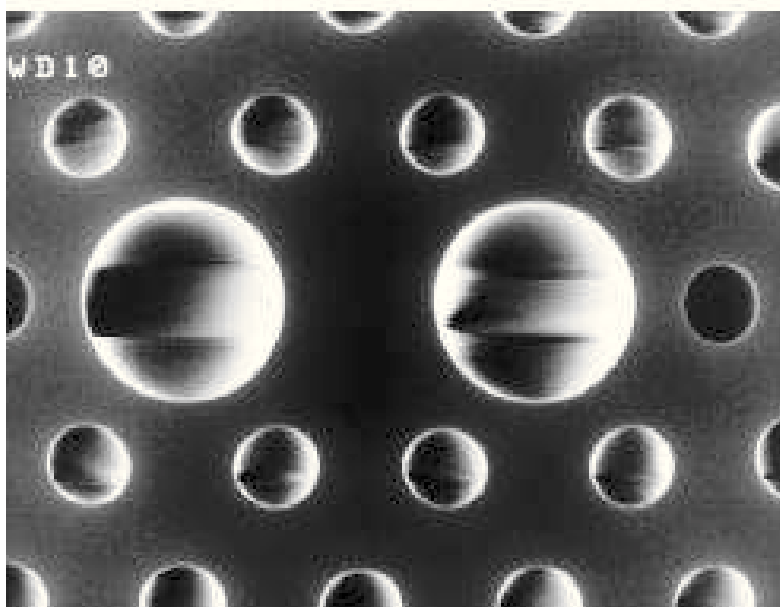
Obrázek 2.13.: HN PCF, typ s velmi malým jádrem [5]

Druhým typem již zmíněného HN PCF vlákna je typ s velkým jádrem, jak je vidět na obrázku (Obrázek 2.14.). Jádro u tohoto modelu má rozměry $1,5 - 5 \mu\text{m}$, které u tohoto typu není doprovázeno prvky pro zvýšení indexu lomu světla, tudíž nevzniká ve vlákně tak velký kontrast indexu lomu světla, čímž nedochází k nelineárním efektům jako u prvního typu s malým jádrem. Cena těchto Nonlinearity vláken se pohybuje okolo 1350 € za metr.[6]



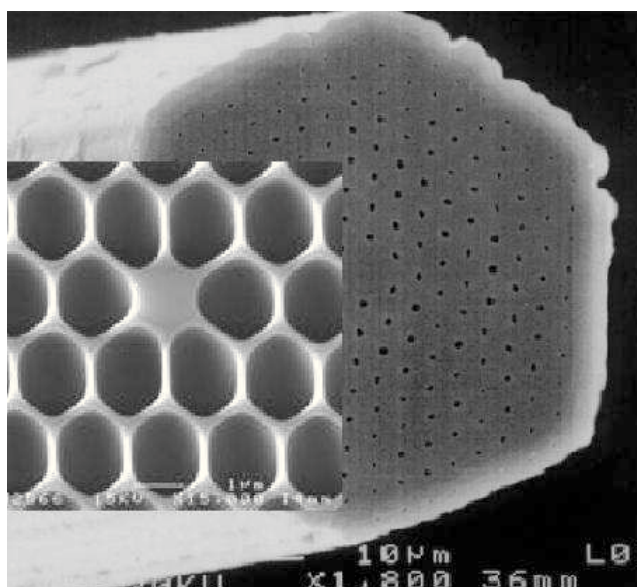
Obrázek 2.14.: HN PCF, typ s velkým jádrem [5]

Dalším typem mikrostrukturního vlákna patří ke kategorii Index Guiding PCF vláken je model Polarization Maintaining. V překladu tento název znamená vlákno s nulovou polarizačně vidovou disperzí. Stavba tohoto vlákna je zajímavá, a to z důvodu dvou jader, jak je vidět na obrázku (Obrázek 2.15.). Index lomu v tomto vlákně je skokový, což u konvenčních vláken bývá realizováno v mnohovidových vláknech. Toto vlákno je ale jednovidové s velkým indexem lomu na rozhraní mezi vzduchem a sklem. Cena tohoto vlákna se dle výrobce pohybuje okolo 115 € za metr vlákna. [6]



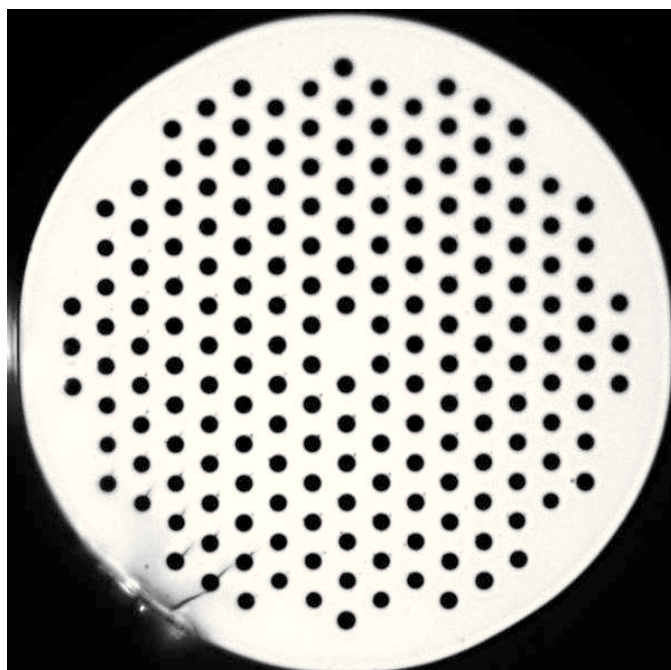
Obrázek 2.15.: PM PCF vlákno s dvěmi jádry [5]

Nekonečné jednovidové neboli Endlessly Single Mode PCF vlákno patří také do kategorie IG PCF vláken (Obrázek 2.16.). Toto vlákno se vyznačuje svým pracovním principem, neboť pro přenos optického signálu používá celý rozsah vlnových délek od zhruba 800 nm po 1700 nm. Jak již z názvu vyplývá je toto vlákno jednovidové, a jelikož jednovidové vlákno pracuje s poměrně vysokými vlnovými délkami, s čímž souvisí vysoký efektivní index lomu světla, který je u tohoto modelu poměrně velký. Cena tohoto vlákna se pohybuje okolo 115 € za metr vlákna.



Obrázek 2.16.: Nekonečné jednovidové vlákno ESM PCF [5]

Posledním typem vlákna, které se řadí do kategorie indexem řízená fotonická krystalická vlákna je model LMA PCF, neboli Large Mode Area. Tyto vlákna se využívají pro přenos difrakcí omezených vysokých výkonů. Šířka pásma, ve kterém tato vlákna pracují, je od 750 nm do 1700 nm, z čehož vyplývá, že jsou předurčeny pro jednovidové použití. Použití takto vysokých vlnových délek je způsobeno, že mikrostruktury jsou poměrně daleko vzdáleny od sebe (Obrázek 2.17.), což má za následek velké průměry jader a s nimi spojené velké přenosové pásmo.



Obrázek 2.17.: LMA PCF vlákno [7]

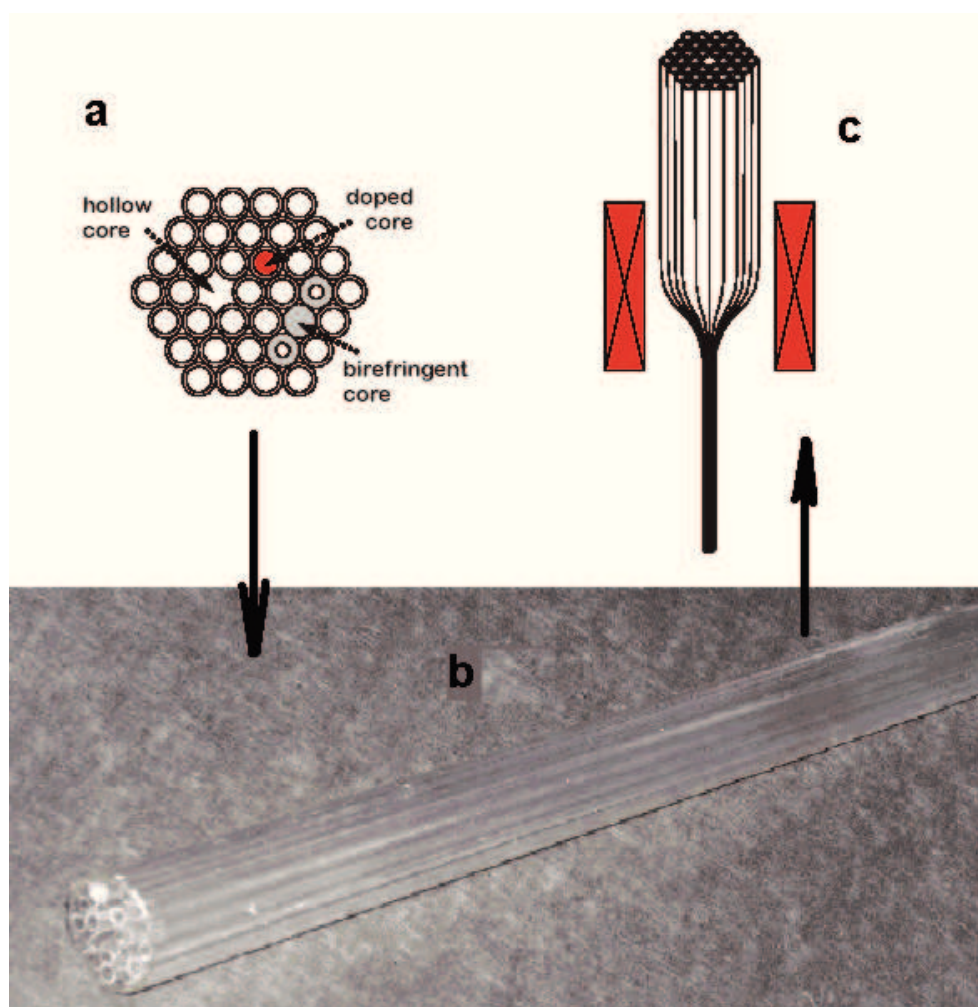
2.3.3 MPOF, polymerová POF vlákna

Polymerová vlákna, laicky nazývána jako vlákna vyrobená z plastu, byla vyvinuta v roce 2001 skupinou v OFTC při University of Sydney. Hlavním důvodem pro změnu vlákna, a v případě těchto typů vláken upuštění od klasických křemenných skel, byly nevýhody, které vznikaly při tavení, a následném tažení vlákna z formy do konečné fáze vlákna (Obrázek 2.18., 2.19.).

Při vybírání materiálu, ze kterého se bude polymerové vlákno vyrábět, byl zvolen PMMA. Jak již bylo zmíněno, jedná se o plastický materiál, ze kterého se produkují i klasická konvenční vlákna.

Už při výrobě prvních prototypových vláken bylo potvrzeno, že nově vyvinuté vlákno odpovídá parametrům a vlastnostem vláken vyráběných ze skla.

V současné době stále probíhá inovativní vývoj těchto typů, a s nimi spojených struktur, které je možné touto technologií vyrobit.



Obrázek 2.18.: Výroba PCF vlákna

a) Kapiláry, ze kterých je následně spečena reforma jsou uspořádány do vzoru s požadovaným jádrem

b) Preforma

c) Tažení vlákna až do finální podoby vlákna



Obrázek 2.19.: Tažení vláken [7]

Materiál PMMA má obecně horší optické vlastnosti oproti sklu (hodnota útlumu je přibližně o řád vyšší), ale na druhé straně má oproti sklu velkou výhodu, co se týče teploty tažení, která se zde pohybuje okolo 200°C, a to umožňuje snadněji udržet komplexní vnitřní strukturu vlákna po dobu tažení preformy, celý proces je lépe kontrolovatelný.

Polymerový materiál má další velkou přednost, a to možnost slévání, polymerace, a díky nízkým teplotám pro zpracování tohoto materiálu je možné toto vlákno různými způsoby dopovat, jelikož při jeho teplotách tažení u nich nedochází k jevům, které byly nežádoucí pro toto dopování u skleněných vláken.

Díky možnosti MPOF vláken použít při jejich výrobě a tažení dopanty, se podařilo vyrobit vlákna, která jsou vhodná i pro jiná využití než jsou pouze telekomunikace, a to například vlákna s více jádry pro senzorické využití, a nebo také vlákna zobrazovací, které našla své uplatnění v biomedicíně.

Takovéto vlákno vyrobené z čistého polymeru (PMMA), je velice náchylné na manipulaci. Jelikož postrádá primární ochranu je vlákno extrémně citlivé na namáhání ve stříhu, což v tomto případě může vést k poškození a deformacím vlákna či snad k jeho úplné destrukci.

Další z nevýhod použití plastového vlákna je jeho chemická odolnost. Ve srovnání s klasickým skleněným vláknem je jeho odolnost vůči silnějším rozpouštědlům, alkoholu a benzinům nižší. Jelikož je vlákno vyrobeno z plastového materiálu, je samozřejmě hořlavé, což nemusí být pro mnoho aplikací přínosné.

Naopak výhodou, oproti zmiňovaným nevýhodám je, že tento materiál a tudíž i vlákno velice dobře odolávají a jsou v podstatě necitlivé na alkálie. Další hlavní výhoda tohoto vlákna jsou jeho reakce na živé formy. Lidské tělo velice dobře tento prvek nevnímá jako invazivní, čímž je jeho aplikace v medicíně velmi používána.

Tento materiál se používá také pro výrobu speciálních flexibilních trubic, které se používají při angiografii kdy se pacientovi takovéto vlákno zavede do tepen, a pomocí kontrastní látky se sleduje narušení krevní soustavy. Na základě této technologie je možné nejen sledovat krevní soustavu, ale také je s ním možné operovat vnitřní krvácení, kdy se do kritického místa pomocí PMMA trubice vstříkne tekutina, které při setkání s fyziologickým roztokem ztvrdne.

3 Experiment

Jednou z částí této diplomové práce je vybrání a provedení experimentu v oblasti mikrostrukturních optovláknových senzorů. Na základě poznatků z praxe v průmyslových prostředích a zkušeností v oblasti nevýbušných zařízení, kde je teplota limitní ukazatel bezpečnosti, a díky které je možné předejít výbuchům, jsem si vybral měření teploty pomocí mikrostrukturního vlákna, jelikož jak už bylo zmíněno v úvodu, optovláknové senzory jsou v poslední době velice vyhledávanými a oblíbenými prostředky pro monitorování a hlídání teplotních rozmezí. Jelikož o tomto měření byly známy některé poznatky již dříve (viz. literatura[4]), a byly výbornou pomůckou pro sestavení celého optosenzoru, byla tato skutečnost druhým důvodem pro tento výběr.

Tento experiment jsem dále rozdělil na dvě části:

- Měření teploty mikrostrukturním vláknem.
- Měření teploty mikrostrukturním vláknem, které bylo vystaveno zkoušce odolnosti proti teplu a chladu dle normy IEC 60079-0.

3.1 První část experimentu

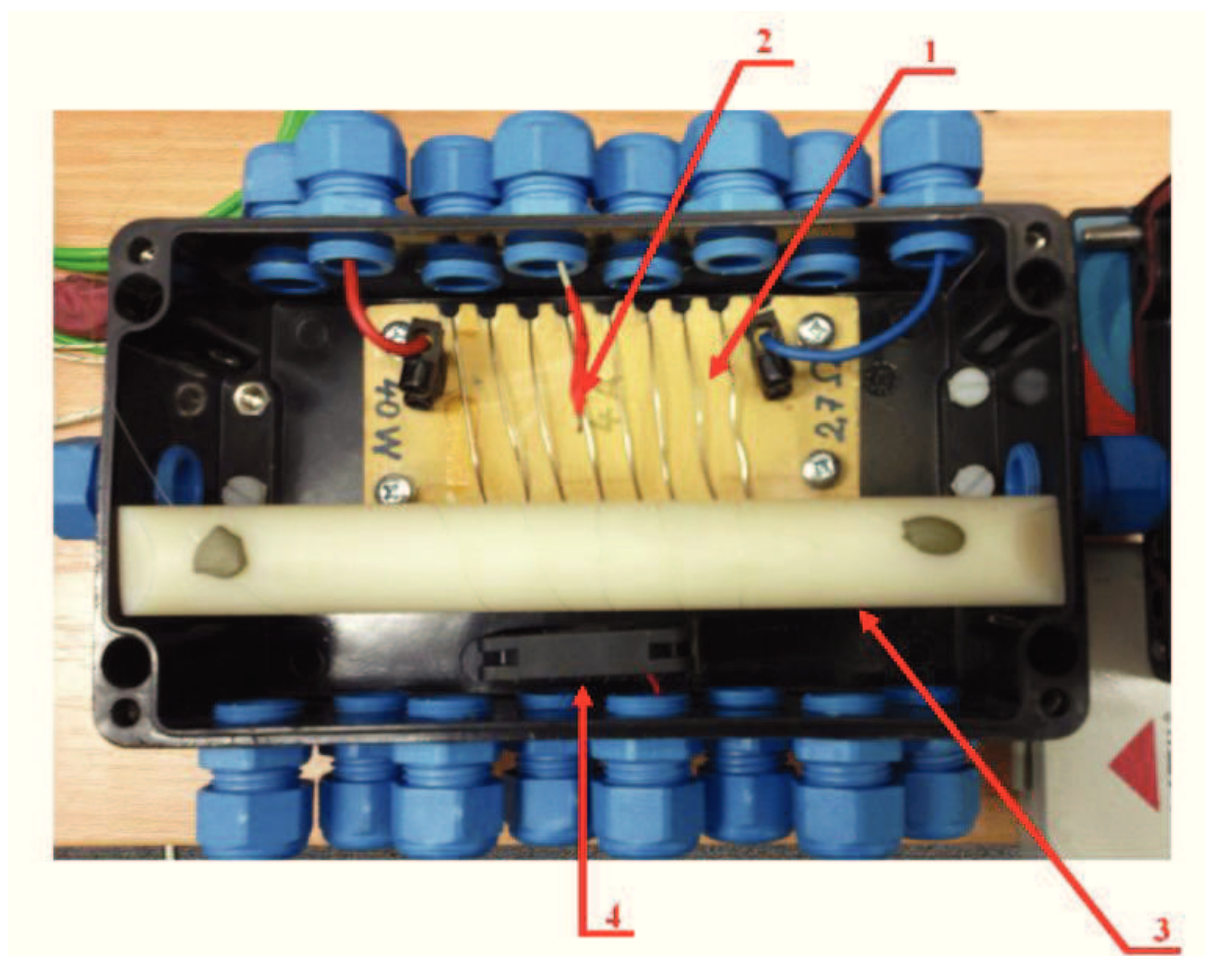
Jak již bylo uvedeno, v první části experimentu se zabývám měřením teploty, a to v sestaveném měřicím přípravku (Obrázek 3.1.). Použitím topného tělesa v zkonstruovaném měřicím přípravku je možné zvyšovat jeho vnitřní teplotu zvyšováním vstupního proudu. Toto měření bylo realizováno od pokojové teploty tj. 24°C a postupným zvyšováním až na teplotu 75°C.

3.1.1 Popis přípravku

Přípravek a sestavení samotného optosenzoru byly základním kamenem pro uskutečnění celého měření. Při jeho návrhu jsem vycházel z již zmíněných literárních zdrojů a z praktických zkušeností, týkajících se rozložení tepla a jeho následné regulace.

Měřicí přípravek byl sestaven pomocí univerzální připojovací skříně o rozměrech 205 x 115 x 85 mm firmy ROSE, která byla osazena kabelovými průchodkami, nevyužité vývodky byly zaslepeny pro nežádoucí odchod tepla. Tato skříň je vyrobena ze sklolaminátu a výrobce udává její pracovní teplotu až 85°C, což byly příznivé podmínky pro zkoušku. Uvnitř bylo umístěno topné těleso tvořeno kantarovým drátem o maximálním výkonu 40W.

Naproti tohoto tělesa byl umístěn ventilátor, díky kterému došlo k rovnoměrnému rozložení teploty uvnitř přípravku. Dále byl v přípravku umístěn termočlánek typu K pro přesné měření teploty. Nad těmito komponenty je umístěn silonový váleček o průměru 22 mm, na kterém bylo v délce pěti závitů navinuto mikrostrukturní vlákno jako optovláknový senzor.



Obrázek 3.1.: Měřicí přípravek, 1.Topné těleso 40W, 2. Termočlánek, 3. Silonový váleček s navinutým optickým vláknem, 4. Ventilátor

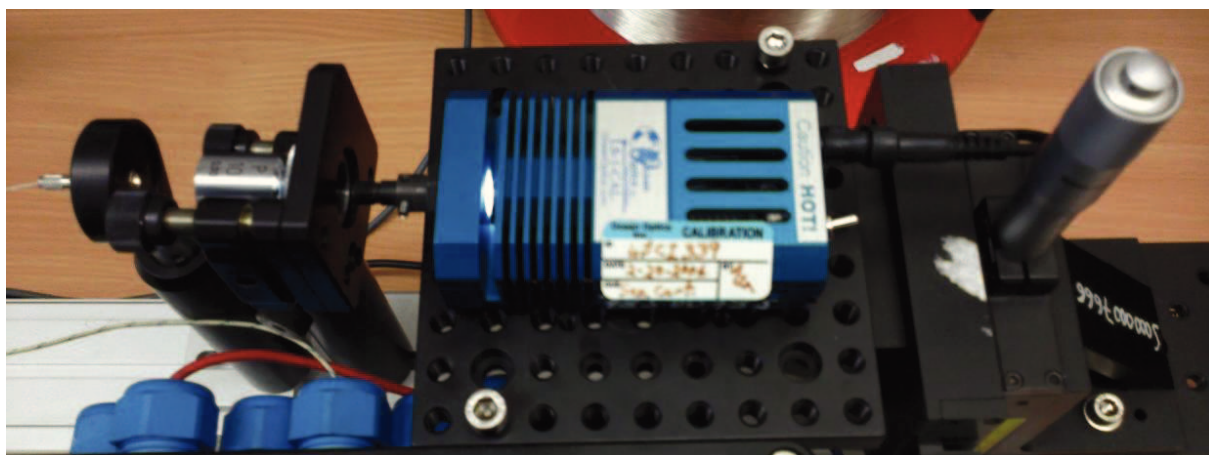
3.1.2 Postup měření

Měření bylo uskutečněno s optickým mikrostrukturním vláknem MPOF, což je vlákno plastové tzn. PMMA (Poly methyl metakrylát). Vláknem jsem navinul na silonový váleček o průměru 22 mm, v délce pěti závitů, a na vstupní a výstupní část vlákna jsem osadil konektory rychlokonektory FC.

Před osazením konektory jsem vlákna zalomil pomocí laboratorního skalpelu pod úhlem 90°, aby byl přenos světelného signálu co nejpřesnější. Tento krok je pro tento typ měření klíčovým, jelikož tento typ vlákna je obecně náchylný na pravidelnost struktury. Špatně či nepřesné řezání vlákna může poškodit strukturu či snad samotné jádro. Takto špatně provedený řez, by přinejmenším vedl ke zhoršení přenosových vlastností, při navázání světla do vlákna, tak při měření na výstupní straně.

Po navedení vlákna do konektoru jsem jeho vstupní stranu zafixoval pomocí neutrálního silikonu MAKROFLEX NA109. Pro fixaci vlákna byl vybrán tento typ silikonu, jelikož jeho vlastnosti díky jeho složení, nijak chemicky nereagují s plasty, což by mohlo vést k nežádoucím vyvázání světla z vlákna. Tento silikonový tmel jsem nechal hodinu vytvrdit, aby vlákno bylo řádně zafixované, a poté jsem čela konektorů očistil laboratorním lihem.

Na vstupní část optovláknového senzoru jsem navázal optický signál ze spektrálního zdroje LS-1-CAL Ocean Optics, pomocí zaměřovací optiky (Obrázek 3.2.).

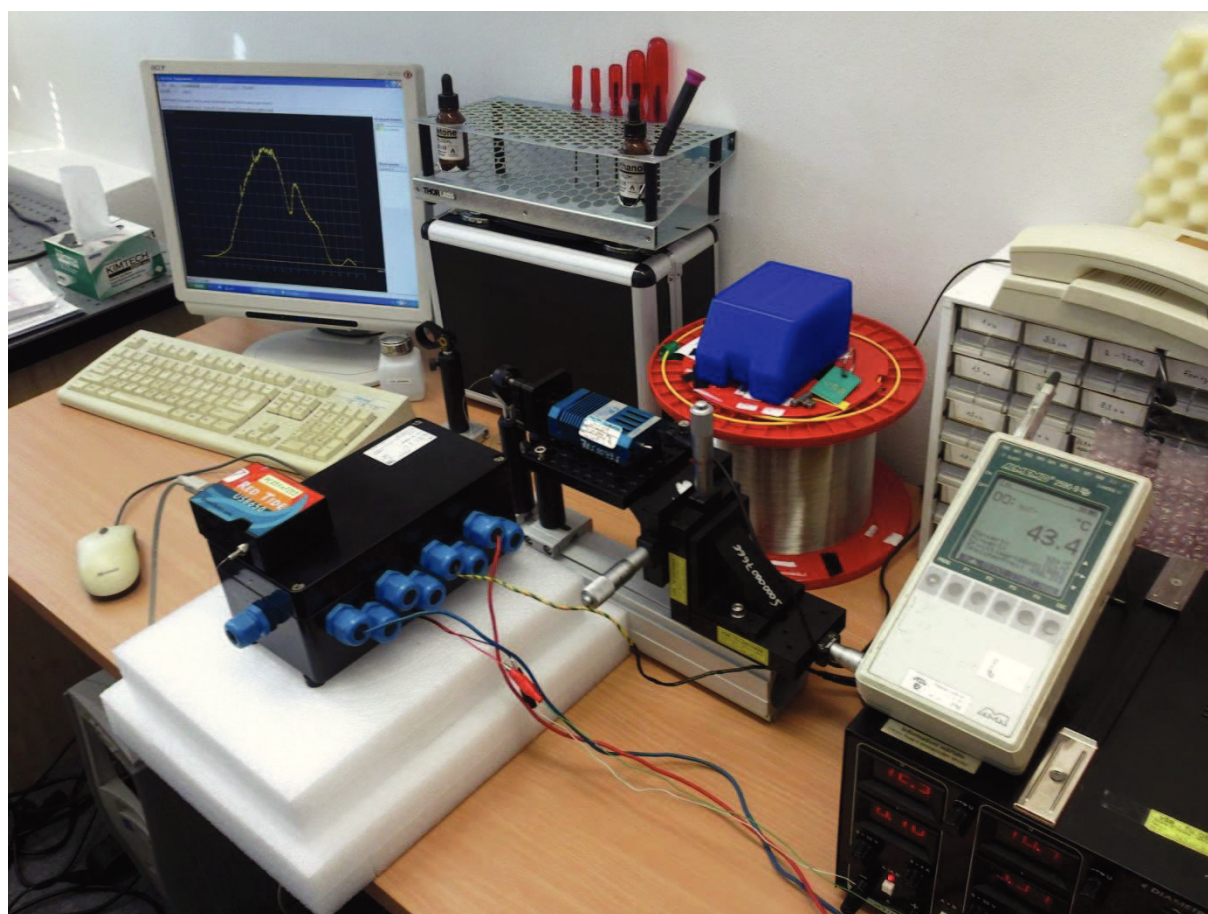


Obrázek 3.2.: Zdroj světla se zaměřovací optikou.

Na výstupní straně byl signál snímán spektrometrem od stejné firmy Ocean Optics model RED TIDE USB650.

Po sestavení tohoto měřicího řetězce (Obrázek 3.3.) bylo spuštěno měření a postupným zvyšováním teploty v měřicím přípravku, která byla monitorovaná měřicím přístrojem ALMEMO 2590-9 pomocí termočláunku typu K uvnitř, a hodnoty byly odečítány co 5°C.

Hodnoty ze spektrometru byly snímány na počítači pomocí softwaru Safibra Das. Výstupem tohoto měření byly charakteristiky mezi intenzitou světla a vlnovou délkou.



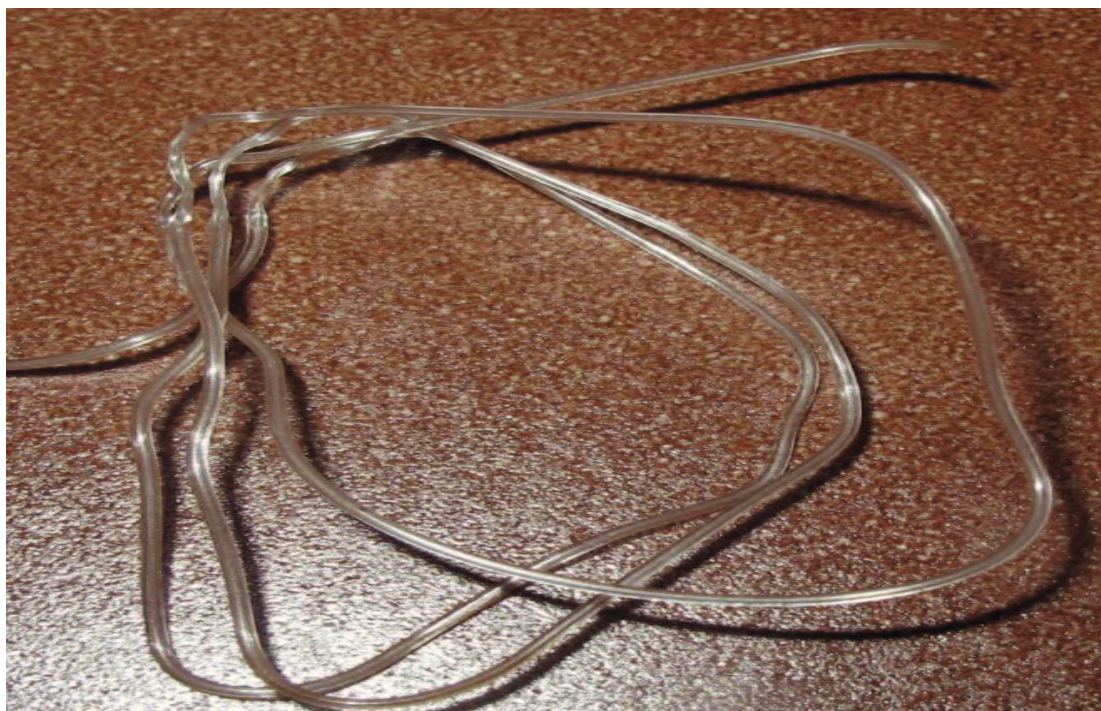
Obrázek 3.2.: Měřicí sestava

3.2 Druhá část experimentu

V druhé části experimentu jsem si pokládal za cíl věnovat se stejnému měření, jako je popsáno výše, ale pomocí vlákna, které bylo vystaveno zkoušce odolnosti proti teplu a chladu.

Na základě naměřených výsledků vláknem podrobeným degradačním zkouškám, mělo následovat porovnání diferenčních výsledků a stanovení závislosti přesnosti měření teploty vláknem po výše uvedených degradačních zkouškách.

Toto měření však nebylo možné provést, jelikož výsledky zkoušek dopadly neúspěšně. Jak je vidět na obrázcích, (Obrázek 3.3., 3.4., 3.5., 3.6.) vlákno vlivem degradační atmosféry uvnitř klimatické komory ztvrdlo, zkřehlo a tmenšilo se z původní délky 55 cm na 24 cm v případě vzorku, který měl konce vlákna volně otevřené (Obrázek 3.3., 3.4.), tudíž atmosféra mohla proniknout do děr uvnitř vlákna. U vlákna, které mělo konce zaslepeny (Obrázek 3.5.) pomocí teplotně odolného tmelu došlo k popraskání vlákna již uvnitř komory po 23 dnech.



Obrázek 3.3.: Vláknó po zkoušce odolnosti-otevřené konce



Obrázek 3.4.: Vláknó po zkoušce odolnosti-otevřené konce



Obrázek 3.5.: Vláknó po zkoušce odolnosti-konce zalepeny tmelem



Obrázek 3.6.: Vláknó po zkoušce odolnosti-konce zalepeny tmelem

Tyto dvě zkoušky, kterým bylo vlákno podrobeno, uměle simulují stárnutí umělých hmot, plastů a elastomerů. Zkouška spočívá v uložení vybraných vzorků do klimatické komory za podmínek, které jsou uvedeny níže v tabulkách (Tabulka 3.1., 3.2.), a také jsou tyto podmínky stanoveny normou evropskou IEC 60079-0, tak normou národní ČSN EN 60079-0:2010.

Tabulka č. 3.1.: Podmínky první části degradační zkoušky

První část zkoušky	
Teplota [°C]	75
Vlhkost [%]	95
Doba zkoušky [h]	672

Tabulka č. 3.2.: Podmínky druhé části degradační zkoušky

Druhá část zkoušky	
Teplota [°C]	-25
Vlhkost [%]	---
Doba zkoušky [h]	24

Tuto zkoušku provedla akreditovaná zkušební laboratoř státní zkušebny FTZÚ Ostrava-Radvanice, pro niž byl vystaven protokol o zkoušce č. 12.0100, který je přiložen v příloze. Po vyhodnocení této zkoušky je patrné, že vlákno není schopno odolávat této teplotě ve spojení s téměř stoprocentní vlhkostí. Tato vlhkost ve spojení s vysokou teplotou očividně při pronikání do děr mikrostruktury tuto stavbu narušuje a bortí ji. Po ukončení měření teploty se mi podařilo vlákno nakonektorovat do rychlokonektoru a pokusil jsem se změřit, zda je vlákno schopno přenést nějaké množství optického spektra a vlnovou délku, ale nepodařilo se mi naměřit ani nepatrnou část na výstupní straně vlákna.

4 Měření vybraného experimentu

V této části diplomové práce se budu zabývat samostatným měřením teploty pomocí mikrostrukturního vlákna v měřicím přípravku, při celém měřicím spektru teploty a popisem naměřených výsledků a jejich vysvětlením.

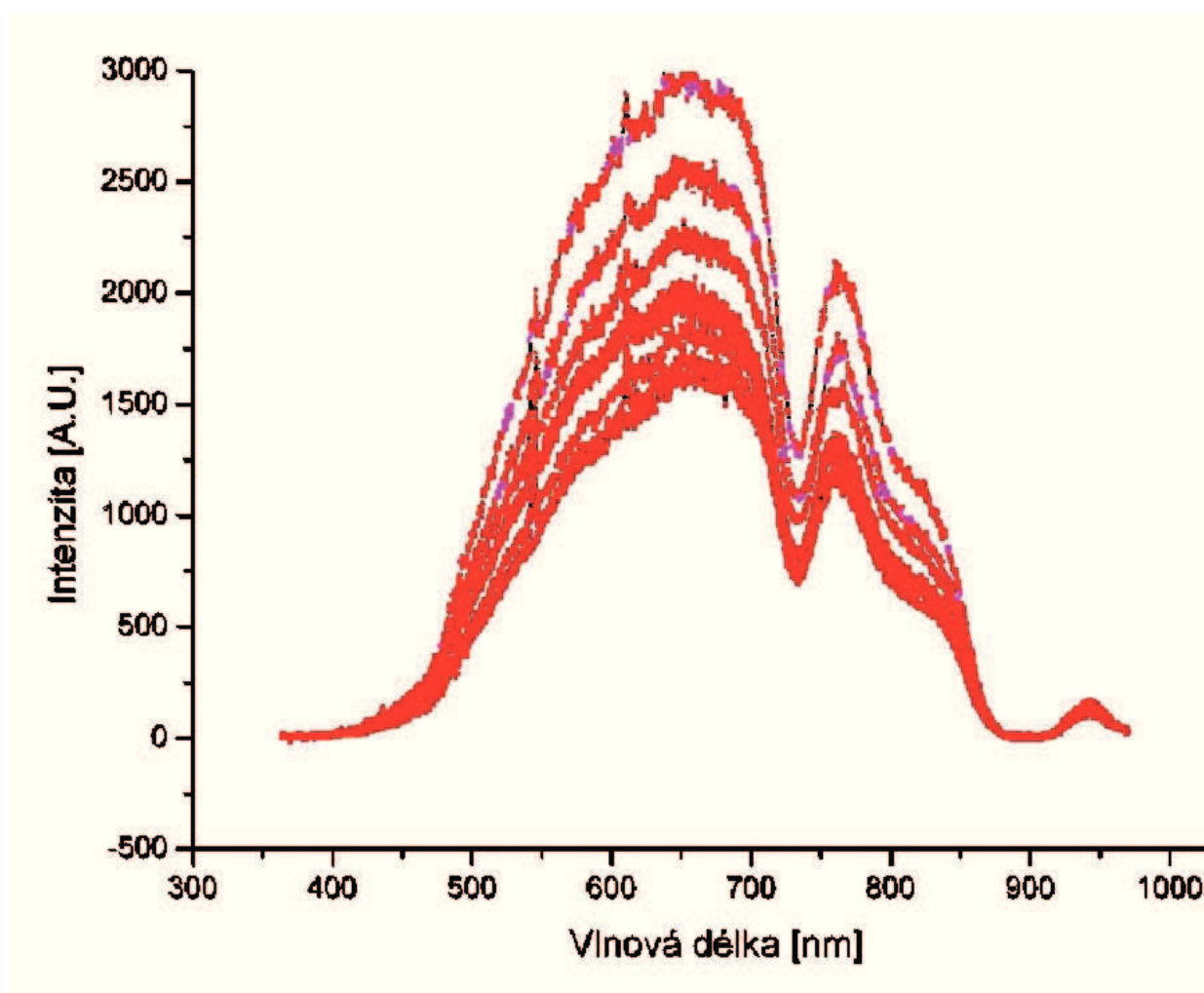
4.1 Popis měření a měřené parametry

Měření jsem prováděl na měřicím přípravku, v rozmezí teplot od 30°C do 75°C, protože do 30°C byla teplota uvnitř měřicího přípravku velice nestabilní. Limitní teplota pro PMMA je v katalogových listech materiálu stanovena na dlouhodobý provoz 95°C a pro krátkodobé provozy, impulsivní měření až 105°C, ale na základě výsledku zkoušek odolnosti proti teplu a chladu, jsem raději i tak ponechal rezervu 20°C, aby nedošlo ke zkreslení, či snad k narušení vnitřní mikrostruktury.

Od nejnižší hodnoty jsem postupně zvyšoval proud na topném tělese po krocích 0,1A , z důvodu řádného prohřátí optického vlákna a silonového válečku, na němž bylo navinuto. Nesprávné prohřátí celé měřicí soustavy by vedlo k následku nestabilních a nepřesných hodnot, a ke špatnému vyhodnocení, což by v závěru způsobilo zkreslené výsledky měření. Hodnoty intenzity v závislosti na vlnové délce jsem snímal za pomoci spektrometru v teplotních intervalech s rozestupy 5°C.

Okamžitě po prvním měření bylo zřetelně vidět, že intenzita v závislosti na zvyšující se teplotě klesá, a z tohoto důvodu jsem si pro výběr nejvhodnější vlnové délky pro měření teploty zvolil tři hodnoty a to 650nm, 735nm a 945nm.

Tyto hodnoty nejsou příliš standardní, ale jak je vidět z obrázku (Obrázek 4.1), byly tyto hodnoty nejlépe čitelné z důvodu svého nejlineárnějšího pohybu v závislosti na teplotě. Z naměřených hodnot při patnáctém měření jsem sestavil graf (Obrázek 4.1.), ve kterém se prolínají všechny kroky měření pro jedno měření v rozmezí od 30°C do 75°C. Z grafu lze vyčíst, jak se různé vlnové délky procházející mikrostrukturním vláknem chovají při zvyšování teploty, díky změnám vlastností fotonických krystalů v mikrostrukturách.



Obrázek 4.1.: Závislost teploty na intenzitě pro různé vlnové délky.

Již z tohoto spektrálního grafu je očividně jasné, že se nejlépe budou chovat vlnové délky v rozpětí od 600nm do 700nm, jelikož jejich charakteristika intenzity v závislosti na teplotě klesají.

Měření jsem prováděl celkem třicetkrát, ve stejných cyklech, jako již bylo uvedeno. Tento počet měření eliminuje možné chyby při měření, a také se ověří přesnost tohoto měření pomocí optovláknů. Během těchto měření bylo patrné, že vlnové délky, na které jsem se nejvíce zaměřil, se opravdu chovaly nejlineárněji, jak je vidět z grafů závislosti měření (Obrázek 4.3., 4.4., 4.5.), na nichž jsou hodnoty ze všech třiceti měření pro dané vlnové délky.

4.2 Výsledky měření

Dle grafu (Obrázek 4.3.) byla ze všech tři sledovaných vlnových délek nejhorší vlnovou délkou 945nm, poněvadž její průběh při zvyšování teploty a při opakování cyklů nedosahoval lineární závislosti a z tohoto důvodů by převod intenzity na teplotu nebyl zcela přesný a měření by bylo zkreslené a neobjektivní.

Druhá vlnová délka, 735nm, již vykazovala lineárnější průběh při měření než předchozí vlnová délka, ale v oblasti teplot od 45°C do 65°C, její křivka na místo klesání začala naopak stoupat (Obrázek 4.4.) , a od hodnoty zhruba 68°C začala opět klesat. Tento fakt opět potvrzuje, že ani tato vlnová délka není příliš vhodná pro optovláknový senzor k měření teploty.

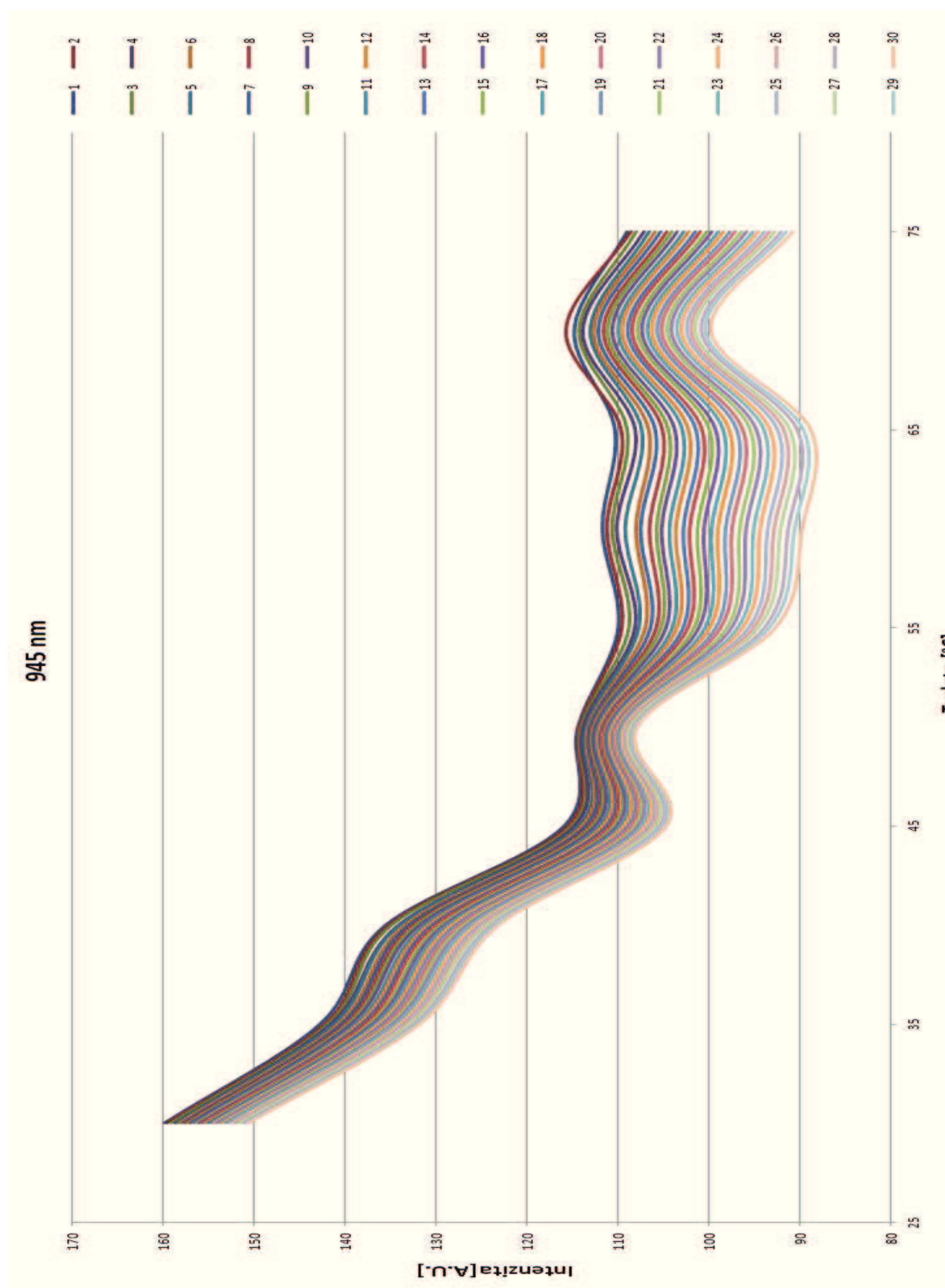
U vlnové délky 650nm je její průběh dle naměřených hodnot na spektrometru nejvhodnější. Z grafu (Obrázek 4.5.) je očividné, že toto měření je nejlineárnější a pro senzorické aplikace tedy nejvhodnější, přičemž nebylo ovlivněno ani počtem měření, ani tepelným namáháním.

Z naměřených hodnot a následně sestavených grafů je zřetelně viditelné, že vlákno tepelným namáháním vykazuje minimální odchylky mezi prvním a posledním měřením, což je velice přínosné pro takto sestavený optovláknový senzor.

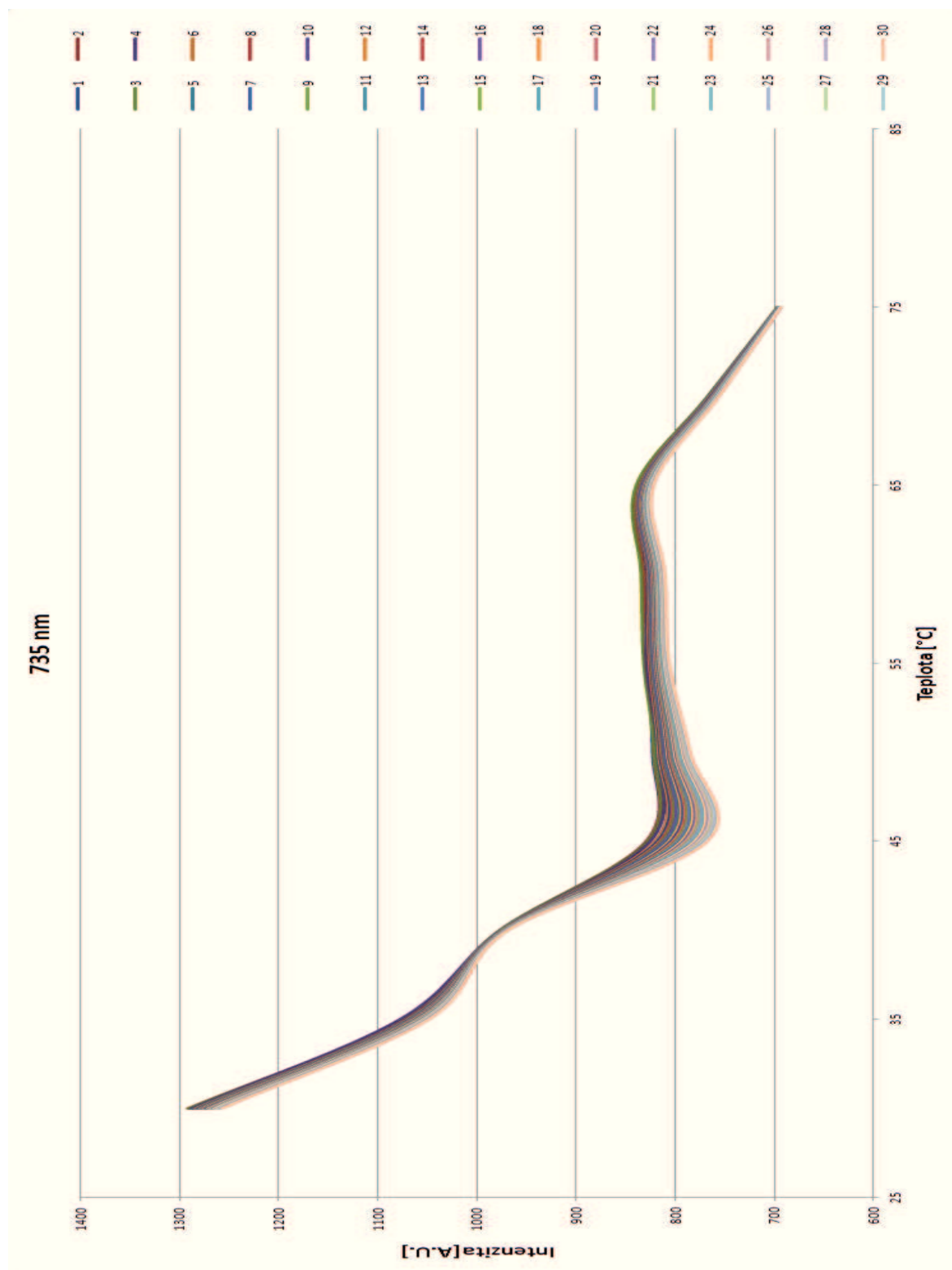
Po provedení měření všech třiceti cyklů bylo na vláknu, které bylo navinuto na silonovém valečku (Obrázek 4.2.), možno pozorovat tzn. tvarovou paměť, kdy optovláknový senzor zůstal po demontáži ve stejném závitovém tvaru. Tato deformace však neměla za následek porušení vnitřní mikrostruktury vlákna, tudíž nedošlo ke zkreslení výsledků ani znehodnocení média.



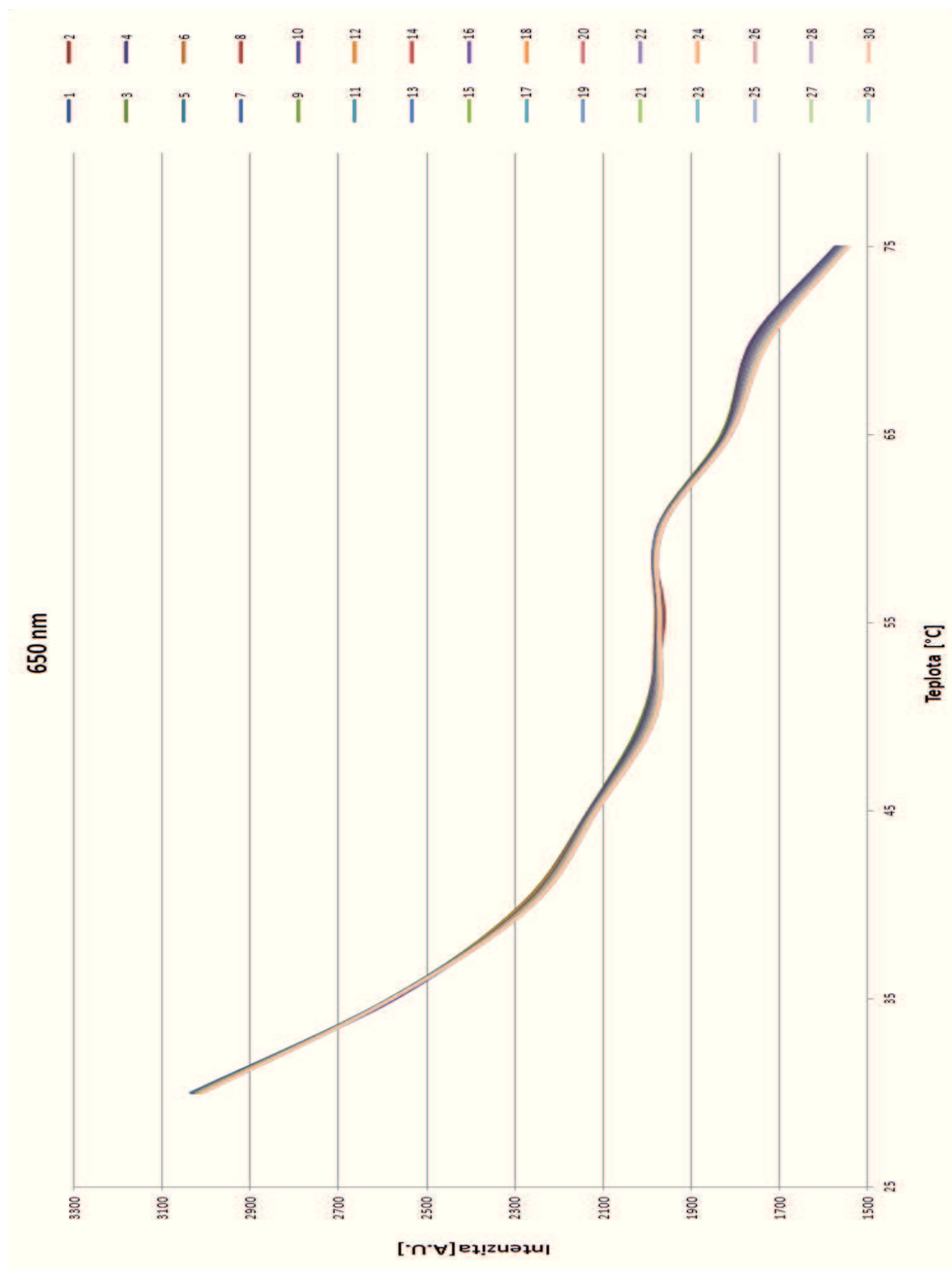
Obrázek 4.2.: Navinutí vlákna-optovláknový senzor



Obrázek 4.3.: Vlnová délka 945nm



Obrázek 4.4.: Vlnová délka 735nm



Obrázek 4.5.: Vlnová délka 650nm

4.3 Shrnutí výsledků měření

V této části se budu věnovat shrnutí naměřených výsledků a vyhodnocení celého měření teploty optovláknovým senzorem, který byl navrhnut pomocí mikrostrukturního vlákna, a zda uskutečněné měření dosáhlo předpokládaných výsledků

Měřením intenzity světla na výstupní straně sestaveného optovláknového senzoru se ukázalo jako vhodná metoda pro určování teploty v přípravku, či v jiném prostředí.

Jak již bylo výše zmíněno, ze sestavených grafů je patrné, že pro měření teploty pomocí optovláknového senzoru sestaveného z mikrostrukturního polymerového vlákna je nejvhodnější použít vlnovou délku 650nm, jelikož její průběh během všech tepelných cyklů prováděných v měřicím přípravku je nejlineárnější a tepelné namáhání vlákna na konečný výsledek také nemělo vliv.

U vlnové délky 735nm nebyl její průběh během všech cyklů nejlépe lineární, ale její charakteristika již byla pozitivnější než u vlnové délky 945 nm. Po změření všech třiceti teplotních cyklů a následné zanesení jejich hodnot do grafu ukázalo, že v případě tohoto výběru vlnové délky již teplotní namáhání vlákna mělo vliv na jeho přenosovou charakteristiku, neboť jak je vidět z grafu (Obrázek 4.4.), že intenzita v rozmezí teplot od 45°C do 65°C klesala s počtem rostoucích měření teploty.

Při pohledu na graf sestavený pro vlnovou délku 945 nm je jasné, že toto spektrum je pro tento typ měření teploty naprosto nevyhovující. Prvním důvodem je její nelineární průběh v oblasti celého spektra vlnových délek, na kterých bylo měření uskutečněno. Tato nelinearita by měla za vliv nepřesný odečet hodnot teploty při použití takto sestaveného optovláknového senzoru měřícího na hodnotě 945 nm. Druhým důvodem pro nevhodnost této metodiky je fakt, že charakteristika intenzity světla klesala v závislosti na počtu měření, jak již bylo naznačeno u vlnové délky 735 nm.

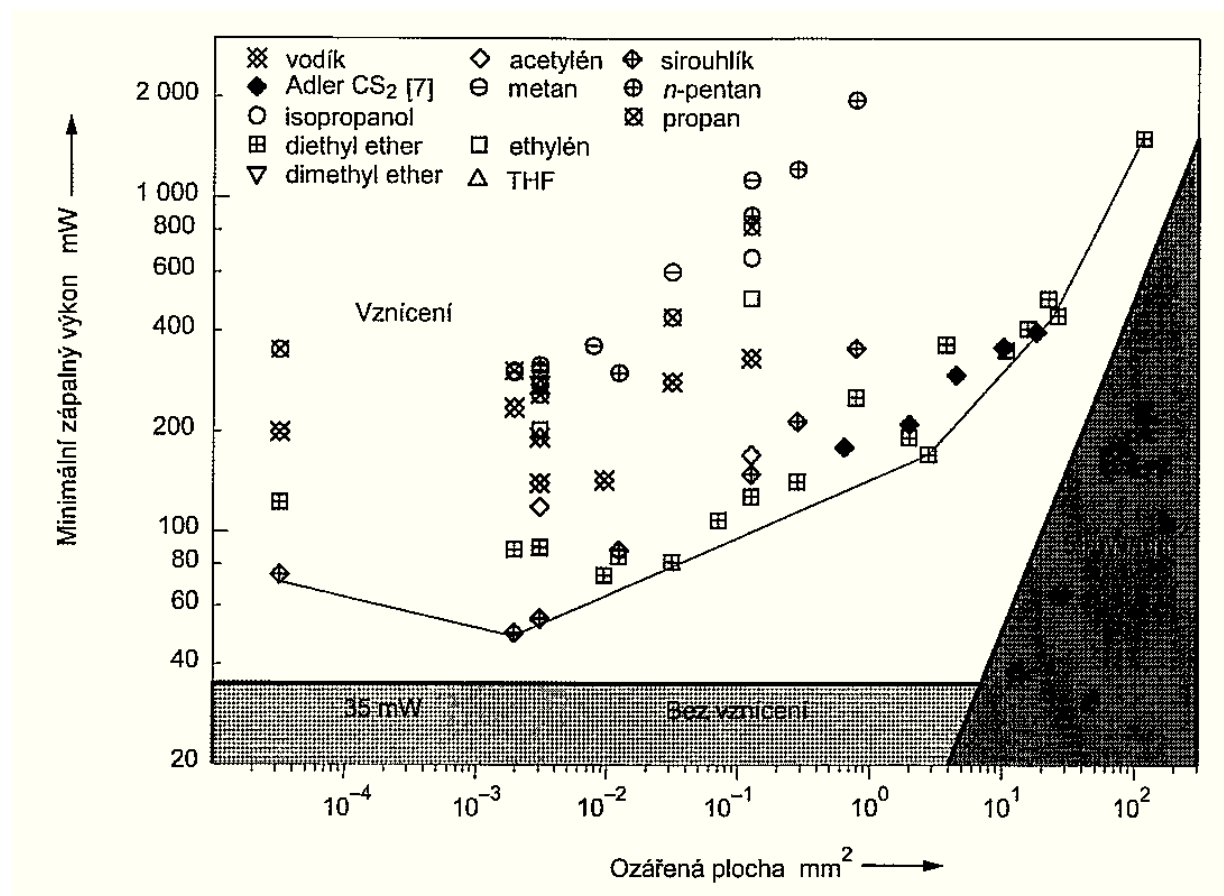
Pokud vezmu na vědomí všechny hodnoty měření, kterých jsem docílil, je patrné, že tento sestavený optovláknový senzor naplnil teoretické úvahy o chování tohoto senzoru při zvyšování či klesání teploty, a jak bude tato fyzikální veličina působit na jeho přenosovou charakteristiku.

Bylo tedy ověřeno, že senzor je schopen měřit teplotu vzduchu od 30°C do 75°C. Sensory sestavené z tohoto typu mikrostrukturního vlákna, kde je hlavním výrobním materiálem PMMA, což je plast, má snímač schopnost měřit pouze nepřilíš vysoké teploty, jak již bylo uvedeno, my jsme si měřením ověřili, že je schopen spolehlivě měřit do 75°C. Teplotu nad hranici námi ověřené teploty bych nedoporučoval měřit, jelikož jak je patrné ze zkoušky odolnosti proti teplu a chladu, předpokládám, že by po několika měřicích cyklech byla narušena, popřípadě naprosto zničena vnitřní

struktura vlákna, což by vedlo k destrukci celého teplotního senzoru a tudíž ukončení celého měřicího procesu.

Tento typ snímače by našel své uplatnění v prostorách s nebezpečím výbuchu plynů a hořlavých par, výbušných prachů, a také v metanujících uhelných dolech. Do těchto prostorů už také v poslední době pronikl trend optických komunikací a na základě těchto požadavků musela být sestavena norma ČSN EN 60079-28, která vymezuje podmínky spojené s instalací optických spojů a komunikací do těchto nebezpečných prostředí.

V takto ohrožených prostorách je pro optické aplikace oproti elektrickým zařízením pouze jedna limitující podmínka a to je optický vyzářený výkon, kde pro například již výše zmíněné metanující uhelné doly je limitní hodnota 150mW vyzářeného výkonu, ale pro aplikace od prostředí IIC, což je prostředí s výskytem vodíku a acetyleny, je to již 15mW. Na následujícím obrázku jde dobře vidět pro jaké plyny je již limitní vyzářený optický výkon.



Obrázek 4.6.: Hodnoty optických výkonů pro nejjednodušší zápalné směsi různých plynů [8]

Jak už jsem v minulém odstavci naznačil, limitní podmínky pro optické komunikace v těchto nebezpečných prostorech, jsou velmi pozitivní pro jejich použití v ohrožených zónách, oproti elektrickým zařízením používajících se v prostorech s nebezpečím výbuchu, které musí splňovat mnoho náročných technických a bezpečnostních požadavků, pro schválení tohoto zařízení certifikátem do výbušných prostředí podle evropské směrnice 94/9/ES, což je ATEX směrnice, na kterou navazuje celá řada norem ČSN EN 60079, ve kterých jsou stanoveny požadavky na různá zařízení určených do prostředí nebezpečí výbuchu dle svého typu ochrany.

5 Závěr

Měření teploty je jedno z nejpoužívanějších měření v rámci průmyslových a technologických aplikací. Optovláknový senzor je pro toto využití nejvhodnějším prostředkem. Díky své nenáročnosti na prostor, hmotnost, ale hlavně na nulové riziko možnosti vzniku elektrických jisker a elektrických oblouků, je toto použití velmi účinnou a inovativní náhradou za stávající elektrické, či jinak principiálně stavěné teplotní čidla.

Optovláknový senzor ve spojení s mikrostrukturním vláknem, které se naprosto svou konstrukcí liší od konvenčního typu vlákna, je pro senzorické aplikace nejvhodnějším přenosovým médiem. Díry, které ve stavbě PCF vlákna vznikají na základě použitých struktur fotonických krystalů, jsou obvykle naplněny vzduchem, tudíž se změnou fyzikálních vlivů na toto vlákno se mění i přenosové parametry přenášeného signálu. Tyto změny na výstupní straně média pozorujeme vhodnou metodou a na základě výsledků tohoto měření jsme schopni stanovit převodní charakteristiku, jaká byla například sestavena pro měření teplot v rámci této diplomové práce.

Při měření vybraného experimentu, kdy jsem pomocí MPOF vlákna měřil teplotní průběh v uzavřeném prostoru sestaveného měřicího přípravku, jsem odečítal výstupní data na spektrometru a z těchto naměřených dat sestavil charakteristiku, která vykresluje závislost mezi intenzitou světla naměřeného na výstupní straně optovláknového senzoru a vlnovou délkou spektrálního signálu.

Pro správnost měření jsem tento experiment opakoval celkem třicetkrát, čímž jsem dosáhl ověření, zda je toto měření pravdivé a dobře sestavené. Z hodnot, které jsem během těchto několika měření nashromáždil, jsem sestavil grafy pro vybrané vlnové délky, které byly 650nm, 735nm a 945nm. Vybrané vlnové délky nejsou standardní, ale v těchto částech spektra byly změny intenzity světla nejlineárnější, tudíž pro senzorické měření nejlépe využitelné. Ze sestavených grafů je patrné, že nejlépe se ze všech tří vybraných vlnových délek chová 650nm. Z jejichž průběhu je patrné, že její hodnoty po celou dobu třiceti měření nejsou ovlivněny ani tepelným namáháním a její téměř lineární průběh je pro měření teploty v závislosti na teplotě vhodný.

Druhá část vybraného experimentu měření teploty měla být zaměřena na vyhodnocení rozdílných výsledků stejného měření, ale s jiným vláknem. Měřicím médiem mělo být vlákno, které bylo vystaveno zkoušce odolnosti proti teplu a chladu. Tato zkouška uměle simuluje stárnutí plastových materiálů, gum a elastomerů. Z důvodu materiálu vlákna (PMMA) jsem chtěl vytvořit porovnávací měření, jaké naměřené hodnoty bude vykazovat vlákno, které prošlo touto degrační zkouškou, a které bylo bez namáhání. Výsledek této odolnostní zkoušky dopadl jako nevyhovující, jelikož vlákna, které byly do klimatické komory vloženy vlivem okolní atmosféry

změnily své rozměry, popraskaly a v některých místech již bylo vidět, že vnitřní mikrostruktura je zničena. Důvod tohoto výsledku byl nejspíše vinou téměř stoprocentní vlhkosti, jelikož vlákno měřené v první části experimentu bylo vystavováno také teplotě 75°C a jeho přenosové vlastnosti se vůbec nezměnily.

Po zhodnocení výsledků, grafů měření a zamyšlením se nad těmito fakty, je očividné, že toto měření je vhodným návodem na sestavení optovláknového senzoru s použitím mikrostrukturního vlákna.

Toto vlákno by dále mohlo být využito nejen pro měření jiných fyzikálních veličin, ale teoreticky také pro měření koncentrací plynu. Díry v mikrostrukturách vláknech, které bývají naplněny vzduchem, by byly naplněny koncentrací plynu a na základě přenosové, či útlumové charakteristiky sestavena vhodná převodní charakteristika.

Použitá literatura

1. A. Bjarklev, A.S. Bjarklev, J. Broeng. Photonic crystal fibers. Springer Science+Business Media Inc., ISBN1-4020-7610-X, [2003].
2. J.Vanda. Polymerová vlákna jako fotonické krystaly a jejich přenosové vlastnosti. VŠB-TU Ostrava. [2007]
3. J.D. Joannopoulos, R. D. Meade, J. N. Winn. Photonic Crystals: Molding the flow of Light. Princeton University Press, [1995].
4. DOČKAL, M. Fotonická krystalická vlákna. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan .Šporik. [2011]
5. COMTEL, Mikrostrukturní optická vlákna, Ing. Michal Lucki, PhD.
<http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4870>
6. Thorlabs online cataloge of photonic crystal fiber
http://www.thorlabs.de/NewGroupPage9.cfm?ObjectGroup_ID=2044
7. Fiber optic basis
<http://www.newport.com/Tutorial-Fiber-Optic-Basics/978863/1033/content.aspx>
8. Norma ČSN EN 60079-28: 2007; Český normalizační institut [2007]

Seznam příloh

1. Protokol o zkoušce odolnosti proti teplu a chladu



Fyzikálně technický zkušební ústav, Ostrava - Radvanice

Autorizovaná osoba 210

Zkušební laboratoř 1019 akreditovaná ČIA

Ostrava - Radvanice, tel: +420 595223111, fax: +420 596232672, email: ftzu@ftzu.cz

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. 12756-14

Zkouška: **Odolnosti proti teple a chladu**

Zkušební předmět: **Optické vlákno MPOF**

Číslo vzorku: ---

Číslo certifikace: ---

Zkušební vzorek dodán: 05.03.2012

Vzorek zkoušen podle: ČSN EN 60079-0 ed.3:2010, čl.26.8, čl.26.9

Odchyly od zkušebního postupu: -



Datum: 11-04-2012

Podpis:

Výsledky zkoušek obsažené v tomto protokolu se týkají pouze zkoušených předmětů a nenahrazují jiné dokumenty. V žádném případě se protokol nesmí bez písemného souhlasu zkušebny reprodukovat jinak než celý.

Fyzikálně technický zkušební ústav, státní podnik, Pikartská 7, 716 07 Ostrava – Radvanice, tel: +420 595 223 111, fax: +420 596 232 672, e-mail: ftzu@ftzu.cz

Protokol č. 12.756-14

Strana č. 2

Předmět zkoušky:**Optické vlákno MPOF**

Dodány 2 vzorky, přičemž jeden byl do klimatické komory vložen se zaslepenými konci.
Druhý vzorek měl své konce otevřeny.

Použité měřicí přístroje a zařízení:

Klimatická komora VÖTSCH VC³ 4018, ev.č.273
Teploměr digitální ALMEMO 2290-3, ev.č.165

Podmínky při zkoušce:**Odolnost proti teplu:****ČSN EN 60079-0 ed.3:2010, čl.26.8** $T_{a1} = 75^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 90\%$, po dobu 28dní**Odolnost proti chladu :****ČSN EN 60079-0 ed.3:2010, čl.čl.26.9** $T_{a2} = - 25^{\circ}\text{C}$, po dobu 24hodin**Výsledek zkoušky :**

Při zkoušce odolnosti proti teplu a chladu optického MPOF vlákna došlo k viditelnému poškození následkem tepelného namáhání.

Zkoušel: Jan Šviderský

Zkoušky provedeny ve dnech: 12.3. až 6.4.2012